

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-014005  
 (43)Date of publication of application : 18.01.2002

(51)Int.Cl. G01M 11/02  
 G01B 11/00  
 G03F 7/22  
 H01L 21/027

(21)Application number : 2000-216868 (71) NIKON CORP  
 Applicant :  
 (22)Date of filing : 18.07.2000 (72)Inventor : HAGIWARA TSUNEYUKI

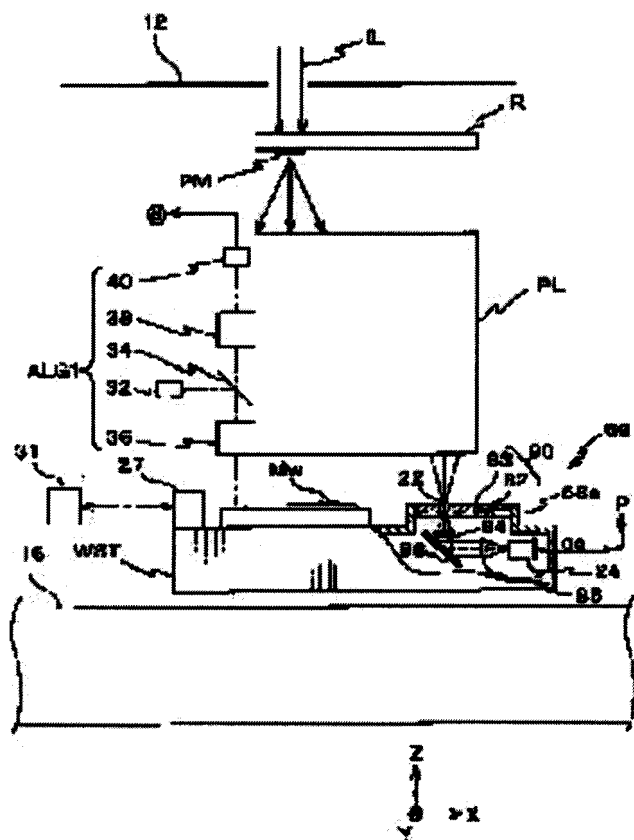
(30)Priority  
 Priority number : 2000123553 Priority date : 25.04.2000 Priority country : JP

(54) MEASURING METHOD OF SPATIAL IMAGE, MEASURING METHOD OF IMAGING CHARACTERISTIC, MEASURING DEVICE FOR SPATIAL IMAGE, AND EXPOSURING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To measure a spatial image with full accuracy.

SOLUTION: A slit 22, which extends in Y-axis direction, having a width in the measurement direction (X-axis direction) less than (wavelength  $\lambda$  / opening number N.A. of a projection optical system), is formed in a slit plate 90 of a spatial image measurement apparatus 59. When a specific pattern PM illuminated with an illumination light IL for this purpose and when the slit plate 90 is scanned in X-axis direction to the spatial image, in a state in which the spatial image of that pattern is formed on the image surface by way of a projection optical system PL, the light having transmitted the slit 22 during scanning is photoelectrically converted with a photoelectric converter element 24. The photoelectric





conversion signal (signal which corresponds to the light intensity of the spatial image) is output. Then based on the photoelectric conversion signal, light intensity distribution corresponding to the spatial image is measured with a controller. In this case, the spatial image can be measured with practically sufficient accuracy, since the width of the slit 22 is equal to or less than ( $\lambda / \text{N.A.}$ ).

---

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the space image measurement approach which measures the space image of the predetermined pattern formed of a projection optical system. The process which illuminates said pattern and forms the space image of this pattern on the image surface through said projection optical system by the illumination light; while extending in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to the optical axis of said projection optical system While the width of face of the 2nd direction of [ within said two-dimensional flat surface vertical to this ] scans the slit plate which has at least one slit defined in consideration of the wavelength  $\lambda$  of said illumination light in said 2nd direction in said two-dimensional flat surface near [ said ] the image surface The space image measurement approach containing the process which acquires the photo-electric-translation signal according to the reinforcement of said illumination light which carried out photo electric translation of said illumination light which penetrated said slit, and penetrated said slit, and;

[Claim 2] It is the space image measurement approach which measures the space image of the predetermined pattern formed of a projection optical system. The process which illuminates said pattern and forms the space image of this pattern on the image surface through said projection optical system by the illumination light; while extending in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to the optical axis of said projection optical system While the width of face of the 2nd direction of [ within said two-dimensional flat surface vertical to this ] scans the slit plate which has at least one slit defined in consideration of numerical-aperture N.A. of said projection optical system in said 2nd direction in said two-dimensional flat surface near [ said ] the image surface The space image measurement approach containing the process which acquires the photo-electric-translation signal according to the reinforcement of said illumination light which carried out photo electric translation of said illumination light which penetrated said slit, and penetrated said slit, and;

[Claim 3] The width of face of said 2nd direction of said slit is the space image measurement approach according to claim 1 or 2 characterized by being the following ( $\lambda/\text{N.A.}$ ) which **\*\***(ed) wavelength  $\lambda$  of said illumination light by numerical-aperture N.A. of said projection optical system more greatly than zero.

[Claim 4] The width of face of said 2nd direction of said slit is the space image measurement approach according to claim 3 characterized by being 0.8 or less times of the above ( $\lambda/\text{N.A.}$ ).

[Claim 5] The width of face of said 2nd direction of said slit is the space image measurement approach according to claim 1 or 2 characterized by being odd times the one half of the minimum pitch which are the line of the resolution limit which becomes settled according to lighting conditions including the classification of said illumination light and said pattern, and a pitch of a tooth-space pattern.

[Claim 6] The width of face of said 2nd direction of said slit is the space image measurement approach according to claim 1 or 2 characterized by specifying the numerical aperture of  $\lambda$  and said projection optical system as odd times of  $\{\lambda/(2 \text{ N.A.})\}$  in it, using wavelength of said illumination light as N.A.

[Claim 7] The space image measurement approach given in any 1 term of claims 1-6 characterized by including further the process which recovers the original space image by carrying out the Fourier transform of said photo-electric-translation signal, searching for spatial-frequency distribution, breaking this **\*\*\*\*\*** spatial-frequency distribution by known frequency spectrum of said slit again, changing into the spectrum distribution of the original space image, and carrying out the inverse Fourier transform of this spectrum

distribution.

[Claim 8] Are the image formation property measurement approach which measures the image formation property of a projection optical system, and a predetermined pattern is illuminated by the illumination light. Said projection optical system is minded for the space image of this pattern. The process formed on the image surface; while scanning the slit plate which has at least one slit of the predetermined width of face prolonged in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to the optical axis of said projection optical system in the 2nd direction vertical to said 1st direction in said two-dimensional flat surface near [ said ] the image surface The process which acquires the photo-electric-translation signal according to the reinforcement of said illumination light which carried out photo electric translation of said illumination light which penetrated said slit, and penetrated said slit; the image formation property measurement approach containing the process which performs predetermined processing to said photo-electric-translation signal, and searches for the image formation property of said projection optical system, and;

[Claim 9] Detection of said photo-electric-translation signal, said pattern being the line and tooth-space pattern which have periodicity in the direction corresponding to the 2nd direction, and changing the location of said direction of an optical axis of said slit plate as a multiple-times repeat and said predetermined processing The Fourier transform of two or more photo-electric-translation signals acquired by said repeat is carried out, respectively. The contrast which is the gain of each primary frequency component and 0th frequency component is searched for. The image formation property measurement approach according to claim 8 characterized by detecting the best focus location of said projection optical system by detecting the location of said direction of an optical axis corresponding to the photo-electric-translation signal with which this contrast serves as max.

[Claim 10] The image formation property measurement approach according to claim 9 characterized by including further the process which detects the image surface configuration of said projection optical system by performing detection of said best focus location repeatedly about two or more points from which the distance from the optical axis of said projection optical system differs.

[Claim 11] The image formation property measurement approach according to claim 9 characterized by including further the process which performs detection of said best focus location in the optical axis of said projection optical system repeatedly about two or more said lines and tooth-space patterns of a different pitch, and searches for the spherical aberration of said projection optical system based on the difference of said best focus location corresponding to said each pattern.

[Claim 12] Said pattern is a pattern with which the width of face of said 2nd direction contains at least one larger rectangle pattern than the width of face of said 2nd direction of said slit. Formation of said space image and detection of said photo-electric-translation signal are repeatedly performed about the space image of said pattern projected on the location where it differs in the image field of said projection optical system. As said predetermined processing The phase of two or more photo-electric-translation signals of each, acquired by said repeat, is detected. The image formation property measurement approach according to claim 8 characterized by computing the location of the space image corresponding to said each photo-electric-translation signal based on the result of this phase detection, respectively, and asking for at least the distortion of said projection optical system, and one side of a scale factor based on this calculation result.

[Claim 13] Said pattern is a pattern with which the width of face of said 2nd direction contains at least one larger rectangle pattern than the width of face of said 2nd direction of said slit. Formation of said space image and detection of said photo-electric-translation signal are repeatedly performed about the space image of said pattern projected on the location where it differs in the image field of said projection optical system. As said predetermined processing Based on the intersection of two or more photo-electric-translation signals of each acquired by said repeat and predetermined slice level, the location of the space image corresponding to said each photo-electric-translation signal is computed, respectively. The image formation property measurement approach according to claim 8 characterized by asking for at least the distortion of said projection optical system, and one side of a scale factor based on this calculation result.

[Claim 14] Said pattern is the image formation property measurement approach according to claim 8 characterized by being the line and tooth-space pattern which have periodicity in said 1st direction by the shape of a rectangle as a whole.

[Claim 15] Formation of said space image and detection of said photo-electric-translation signal are

repeatedly performed about the space image of said pattern projected on the location where it differs in the image field of said projection optical system. As said predetermined processing Based on the intersection of two or more photo-electric-translation signals of each acquired by said repeat and predetermined slice level, the location of the space image corresponding to said each photo-electric-translation signal is computed, respectively. The image formation property measurement approach according to claim 14 characterized by asking for at least the distortion of said projection optical system, and one side of a scale factor based on this calculation result.

[Claim 16] Said pattern is the image formation property measurement approach according to claim 8 characterized by being the line and tooth-space pattern which have periodicity in the direction corresponding to said 2nd direction, computing the line breadth outlying observation of each of said line pattern as said predetermined processing based on the intersection of said photo-electric-translation signal and predetermined slice level, and searching for the comatic aberration of said projection optical system based on this calculation result.

[Claim 17] Said pattern is the line and tooth-space pattern which have periodicity in the direction corresponding to said 2nd direction. As said predetermined processing The 1st fundamental-frequency component corresponding to the pitch of each of said line pattern of said photo-electric-translation signal, The image formation property measurement approach according to claim 8 characterized by computing phase contrast with the 2nd frequency component corresponding to the width of face of said line and the whole tooth-space pattern, and searching for the comatic aberration of said projection optical system based on this calculation result.

[Claim 18] Said pattern is a symmetry mark pattern which has at least two kinds of line patterns with which the line breadth arranged at intervals of predetermined in the direction corresponding to said 2nd direction differs. As said predetermined processing The image formation property measurement approach according to claim 8 characterized by computing a gap of the symmetric property of the space image of said pattern based on the intersection of said photo-electric-translation signal and predetermined slice level, and searching for the comatic aberration of said projection optical system based on this calculation result.

[Claim 19] In order to be the space image metering device which measures the space image of the predetermined pattern formed of a projection optical system and to form the space image of said pattern on the image surface through said projection optical system, The lighting system which illuminates said pattern; while extending in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to the optical axis of said projection optical system It is the following ( $\lambda/N.A.$ ) to which the width of face of the 2nd direction vertical to this  $\lambda$  wavelength of said illumination light by numerical-aperture  $N.A.$  of said projection optical system more greatly than zero. The slit plate which has at least one slit; Photo electric translation of said illumination light which penetrated said slit plate is carried out. The optoelectric transducer which outputs the photo-electric-translation signal according to the reinforcement of said illumination light which penetrated said slit; where said pattern was illuminated by said lighting system and said space image is formed on said image surface The processor which measures the optical intensity distribution corresponding to said space image based on the photo-electric-translation signal from said optoelectric transducer while scanning said slit plate in said 2nd direction in said two-dimensional flat surface near [ said ] the image surface, and a space image metering device equipped with;

[Claim 20] The substrate stage which is the aligner which imprints to a substrate the circuit pattern formed in the mask through a projection optical system, and holds said substrate; the aligner with which said slit plate is equipped with the space image metering device according to claim 19 which consisted of said substrate stages and one movable.

[Claim 21] The aligner according to claim 20 characterized by having further the control unit which measures the optical intensity distribution corresponding to the space image of various mark patterns, and searches for the image formation property of said projection optical system based on the data of said the measured optical intensity distribution using said space image metering device.

[Claim 22] The mark detection system which detects the location of the mark on said substrate stage; the aligner according to claim 20 characterized by having further the control unit which detects the relative-position relation between the projection location of the pattern of said mask by said projection optical system, and said mark detection system using said space image metering device.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the space image measurement approach, the image-formation property measurement approach, a space image metering device, and an aligner, and relates to the space image metering device for performing the image-formation property measurement approach which measures the image-formation property of a projection optical system using the space image measurement approach and this space image measurement approach of measuring in more detail the space image formed in the image surface from a projection optical system, and said space image measurement approach, and an aligner equipped with this space image metering device.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, in case a semiconductor device or a liquid crystal display component is manufactured at a photolithography process, the projection aligner imprinted on substrates, such as a wafer with which the photo mask or the pattern of reticle (it is hereafter named "reticle" generically) was applied to sensitization agents, such as a photoresist, by the front face through the projection optical system, or a glass plate, for example, the cutback projection aligner of a step-and-repeat method, (the so-called stepper), the scanning projection aligner (the so-called scanning stepper) of step - and - scanning method, etc. are used.

[0003] By the way, since it is necessary to accumulate a different circuit pattern on many layers, and to form it on a substrate to manufacture a semiconductor device etc., it is important to lay the reticle by which the circuit pattern was drawn, and the pattern already formed in each shot field on a substrate on top of accuracy. In order to perform this superposition with a sufficient precision, it is indispensable that the image formation property of a projection optical system is adjusted to a desired condition.

[0004] It is necessary to measure an image formation property to accuracy as a premise of adjustment of the image formation property of this projection optical system. It exposes using the mask for measurement with which the predetermined pattern for measurement was formed as the measurement approach of this image-formation property, and the approach (it is hereafter called the "burning method") of computing an image-formation property based on the measurement result of having measured the resist image from which the projection image of the pattern for measurement develops the substrate by which imprint formation was carried out, and is acquired is mainly used. In addition, without exposing actually, the space image (projection image) of the pattern for measurement which illuminated the mask for measurement by the illumination light, and was formed of the projection optical system is measured, and the approach (it is hereafter called "space image mensuration") of computing an image formation property based on this measurement result is also performed.

[0005] The conventional space image measurement was performed in general as follows. That is, as shown, for example in drawing 38 (A), the opening plate 123 with which the square opening 122 was formed is installed on a substrate stage, the opening plate 123 is scanned in the direction of an arrow head A through a substrate stage to space image MP' of the pattern for measurement on the reticle for measurement formed of the non-illustrated projection optical system, and photo electric translation of the illumination light which penetrated opening 122 is received and carried out by the optoelectric transducer. By this photo electric translation, a photo-electric-translation signal (signal on the strength [ optical ] corresponding to a space

image) as shown in drawing 38 (B) is acquired. Next, a differential wave as shown in drawing 38 (C) by differentiating the wave of a photo-electric-translation signal as shown in this drawing 38 (B) to a scanning direction is searched for. And based on a differential wave as shown in this drawing 38 (C), predetermined signal processing with the well-known Fourier transform etc. is performed, and it asks for the optical image (space image) with which the measurement mark was projected.

[0006] About detection of the distortion of the projection optical system based on measurement and this of this space image etc., it is indicated by \*\*\*\*\*10-209031\*\*\*\*\* etc. at the detail, for example.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, if it was in the above-mentioned conventional space image measurement approach, since big opening was made to scan and space image reinforcement was measured, as shown in drawing 38 (B), a result in which the big low-frequency component in addition to the spatial-frequency component by which the profile of a space image is characterized is intermingled had been brought. The S/N ratio of the signal component which reflected the profile of a space image as a result from there being a limitation in the dynamic range of a latter signal-processing system, and on the other hand this resolving power (for example, the actual condition about 16 bits) to the dynamic range of a signal-processing system being restricted could not but become small. For this reason, it was weak in the noise and it difficult for degradation of an image profile to become large in case it changes into a space image signal on the strength from a space image, and to measure a space image in sufficient precision.

[0008] In addition, also in the former, the equipment which mainly scans a slit to the space image of a pattern for the purpose of detection of the image formation location of a pattern is indicated by JP,58-7823,A etc. However, with the equipment indicated by this official report, slit width was determined corresponding to the configuration of a mask pattern (reference pattern). For this reason, it was difficult to measure the space image of the pattern of various configurations (magnitude is included) to accuracy.

[0009] This invention was made under this situation and the 1st object is in offering the space image measurement approach and space image metering device which can measure a space image in sufficient precision.

[0010] Moreover, the 2nd object of this invention is to offer the image formation property measurement approach which can measure the image formation property of a projection optical system with a sufficient precision.

[0011] Moreover, the 3rd object of this invention is to offer the aligner which can aim at improvement in exposure precision.

[0012]

[Means for Solving the Problem] Generally, the resolution (resolution)  $R$  of the projection optical system with which an aligner is equipped is expressed with the relation between  $R=k\lambda/N.A.$  ( $\lambda$  is a constant (process multiplier) as which the wavelength of the illumination light and  $N.A.$  are determined by the numerical aperture of a projection optical system besides the resolution of a resist, and  $k$  is determined according to a process) as the formula of Rayleigh is sufficient and it is known. Then, as a result of an artificer's conducting various experiments etc. paying attention to this point, it became clear that a good result was obtained in space image measurement by defining the width of face of the scanning direction of opening used for space image measurement at least in consideration of one side with the wavelength  $\lambda$  of the illumination light, and numerical-aperture  $N.A.$  of a projection optical system. The space image measurement approach concerning this invention is made based on the new knowledge which this artificer acquired.

[0013] Invention according to claim 1 is the space image measurement approach which measures the space image of the predetermined pattern formed of a projection optical system (PL). The process which illuminates said pattern and forms the space image of this pattern on the image surface through said projection optical system by the illumination light (IL); while extending in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to the optical axis of said projection optical system While the width of face of the 2nd direction of [ within said two-dimensional flat surface vertical to this ] scans the slit plate (90) which has at least one slit defined in consideration of the wavelength  $\lambda$  of said illumination light in said 2nd direction in said two-dimensional flat surface near [ said ] the image surface The process and; which acquire the photo-electric-translation signal according to the reinforcement of said illumination light



which carried out photo electric translation of said illumination light which penetrated said slit, and penetrated said slit are included.

[0014] According to this, by the illumination light, a predetermined pattern is illuminated and the space image of this pattern is formed on the image surface through a projection optical system. And while extending in the 1st direction to this space image in a two-dimensional flat surface vertical to the optical axis of a projection optical system While the width of face of the 2nd direction of [ within said two-dimensional flat surface vertical to this ] scans the slit plate which has at least one slit defined in consideration of the wavelength  $\lambda$  of the illumination light in the 2nd direction in said two-dimensional flat surface near the image surface The photo-electric-translation signal according to the reinforcement of the illumination light which carried out photo electric translation of the illumination light which penetrated the slit, and penetrated the slit is acquired. And a space image (distribution of image reinforcement) can be obtained by performing predetermined processing to this photo-electric-translation signal.

[0015] That is, the space image of a predetermined pattern can be obtained with a slit scan method. In this case, since the width of face of the scanning direction of a slit is defined in consideration of the wavelength of the illumination light, it becomes possible to measure a space image in sufficient precision.

[0016] Invention according to claim 2 is the space image measurement approach which measures the space image of the predetermined pattern formed of a projection optical system. The process which illuminates said pattern and forms the space image of this pattern on the image surface through said projection optical system by the illumination light; while extending in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to the optical axis of said projection optical system While the width of face of the 2nd direction of [ within said two-dimensional flat surface vertical to this ] scans the slit plate which has at least one slit defined in consideration of numerical-aperture N.A. of said projection optical system in said 2nd direction in said two-dimensional flat surface near [ said ] the image surface The process and; which acquire the photo-electric-translation signal according to the reinforcement of said illumination light which carried out photo electric translation of said illumination light which penetrated said slit, and penetrated said slit are included.

[0017] According to this, by the illumination light, a predetermined pattern is illuminated and the space image of this pattern is formed on the image surface through a projection optical system. And while extending in the 1st direction to this space image in a two-dimensional flat surface vertical to the optical axis of a projection optical system While the width of face of the 2nd direction of [ within said two-dimensional flat surface vertical to this ] scans the slit plate which has at least one slit defined in consideration of numerical-aperture N.A. of a projection optical system in the 2nd direction in said two-dimensional flat surface near the image surface The photo-electric-translation signal according to the reinforcement of the illumination light which carried out photo electric translation of the illumination light which penetrated the slit, and penetrated the slit is acquired. And a space image (distribution of image reinforcement) can be obtained by performing predetermined processing to this photo-electric-translation signal.

[0018] That is, the space image of a predetermined pattern can be obtained with a slit scan method. In this case, since the width of face of the scanning direction of a slit is defined in consideration of the numerical aperture of a projection optical system, it becomes possible to measure a space image in sufficient precision.

[0019] As for the width of face of said 2nd direction of said slit, in the space image measurement approach concerning each invention given in above-mentioned claims 1 and 2, it is desirable like invention according to claim 3 that it is the following ( $\lambda/\text{N.A.}$ ) which  $\lambda$  is wavelength  $\lambda$  of said illumination light by numerical-aperture N.A. of said projection optical system more greatly than zero. Since the width of face of the scanning direction of a slit is defined in consideration of both wavelength  $\lambda$  which is two parameters which affect resolution, and numerical-aperture N.A. in this case, even if compared with each invention given in claims 1 and 2, it becomes possible to measure a space image with a much more sufficient precision. That the width of face of the scanning direction of a slit presupposed that it is the following ( $\lambda/\text{N.A.}$ ) here An artificer the width of face (it considers as 2D) of the scanning direction of a slit as  $2D=f(\lambda/\text{N.A.})=n \cdot (\lambda/\text{N.A.})$  [ 1st ] So that it may be because the good result (result

practical enough) was obtained when it considered as a multiplier  $n=1$  as a result of repeating simulation, an experiment, etc. and conducting them and may mention later to the 2nd It is because the above-mentioned photo-electric-translation signal becomes the convolution of SURITSU \*\* and the intensity distribution of a space image, so width-of-face 2D of the scanning direction of the slit from the field of measurement precision is so good that it is small.

[0020] In this case, as for the width of face of said 2nd direction of said slit, it is much more desirable like invention according to claim 4 that they are 0.8 or less times of the above ( $\lambda/N.A.$ ). Like \*\*\*\*, the slit width from the field of measurement precision was so good that it was small, and when slit width 2D was 80% or less of  $\lambda/(N.A.)$  according to the simulation and the experiment which the artificer conducted, the much more practical thing was checked.

[0021] However, since the optical reinforcement which penetrates a slit will become small too much and measurement will become difficult if the constraint from a throughput side is taken into consideration, and 2D is too small, a certain amount of magnitude is required.

[0022] In the space image measurement approach concerning each invention of a publication, the width of face of said 2nd direction of said slit is good for above-mentioned claims 1 and 2 like invention according to claim 5 also as being odd times the one half of the minimum pitch which are the line of the resolution limit which becomes settled according to lighting conditions including the classification of said illumination light and said pattern, and a pitch of a tooth-space pattern.

[0023] Here, in the case of the phase shift pattern, i.e., pattern of the phase shift mask (phase shift reticle) which adopted the phase shift method, which does not use a phase shift method etc. under conventional lighting, it is checked by the above-mentioned minimum pitch usually serving as  $\lambda/N.A.$  mostly in the case of a pattern that a minimum pitch becomes  $\lambda/(2 N.A.)$  mostly. In addition, a halftone mold, the Levenson mold, etc. are mentioned as a phase shift mask.

[0024] In the space image measurement approach concerning each invention given in above-mentioned claims 1 and 2, the width of face of said 2nd direction of said slit is good like invention according to claim 6 also as specifying the numerical aperture of  $\lambda$  and said projection optical system as odd times of  $\{\lambda/(2 N.A.)\}$  in it, using wavelength of said illumination light as  $N.A.$

[0025] In each invention given in above-mentioned claims 1-6, the Fourier transform of said photo-electric-translation signal is carried out like invention according to claim 7, and spatial-frequency distribution is searched for, and this \*\*\*\*\* spatial-frequency distribution can be again broken by known frequency spectrum of said slit, and it can change into the spectrum distribution of the original space image, and suppose that the process which recovers the original space image is included further by carrying out the inverse Fourier transform of this spectrum distribution.

[0026] Invention according to claim 8 is the image formation property measurement approach which measures the image formation property of a projection optical system. A predetermined pattern is illuminated by the illumination light. Said projection optical system is minded for the space image of this pattern. The process formed on the image surface; while scanning the slit plate which has at least one slit of the predetermined width of face prolonged in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to the optical axis of said projection optical system in said 2nd direction vertical to said 1st direction in said two-dimensional flat surface near [ said ] the image surface The process which acquires the photo-electric-translation signal according to the reinforcement of said illumination light which carried out photo electric translation of said illumination light which penetrated said slit, and penetrated said slit; the process and; which perform predetermined processing to said photo-electric-translation signal, and search for the image formation property of said projection optical system are included.

[0027] According to this, by the illumination light, a predetermined pattern is illuminated and the space image of this pattern is formed on the image surface through a projection optical system. The photo-electric-translation signal according to the reinforcement of the illumination light which carried out photo electric translation of the illumination light which penetrated the slit, and penetrated the slit in this condition while scanning the slit plate which has at least one slit of the predetermined width of face prolonged in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to the optical axis of a projection optical system in the 2nd direction vertical to the 1st direction in said two-dimensional flat surface near the image surface is acquired. And predetermined processing is performed to this photo-electric-translation signal, and the image

formation property of a projection optical system is searched for.

[0028] That is, since the space image of a predetermined pattern can be obtained, predetermined processing is performed to this acquired photo-electric-translation signal and the image formation property of a projection optical system is searched for with a slit scan method, it becomes possible to measure the image formation property of a projection optical system with a sufficient precision.

[0029] Like invention according to claim 9, in this case, said pattern When it is the line and tooth-space pattern which have periodicity in the direction corresponding to the 2nd direction, detection of said photo-electric-translation signal, changing the location of said direction of an optical axis of said slit plate as a multiple-times repeat and said predetermined processing The Fourier transform of two or more photo-electric-translation signals acquired by said repeat is carried out, respectively. The contrast which is the gain of each primary frequency component and 0th frequency component can be searched for, and suppose that the best focus location of said projection optical system is detected by detecting the location of said direction of an optical axis corresponding to the photo-electric-translation signal with which this contrast serves as max. Since the above-mentioned contrast changes sensitively according to a focal location (the amount of defocusing), according to this invention, it can measure the best focus location of a projection optical system often [ precision ] and easily (decision).

[0030] In this case, suppose that the process which detects the image surface configuration of said projection optical system is included further like invention according to claim 10 by performing detection of said best focus location repeatedly about two or more points from which the distance from the optical axis of said projection optical system differs. It becomes possible to ask accuracy for the image surface easily by performing detection of a best focus location repeatedly about two or more points from which the distance from the optical axis of said projection optical system differs, and performing a statistical procedure based on the detection result, since the image surface, i.e., the best image formation side, is a field which consists of the set of the best focus point in the countless point (namely, countless point that the so-called height of an image differs) that the distance from an optical axis differs.

[0031] Suppose that the process which performs detection of said best focus location in the optical axis of said projection optical system to above-mentioned claim 9 like invention according to claim 11 repeatedly about two or more said lines and tooth-space patterns of a different pitch, and asks it for the spherical aberration of said projection optical system in the image formation property measurement approach concerning invention of a publication based on the difference of said best focus location corresponding to said each pattern is included further. It is one of the aperture aberration of optical system, and when a bundle of rays with various openings from the object point on an optical axis carries out incidence of the spherical aberration to optical system, it is a phenomenon in which the corresponding image point does not carry out image formation to one point. Therefore, based on the difference of two or more lines of a pitch which is different in detection of the best focus location in the optical axis of a projection optical system and a tooth-space pattern \*\*\*\*\* repeat deed, and the best focus location corresponding to each pattern, spherical aberration can be easily searched for by the operation.

[0032] In the image formation property measurement approach concerning invention given in above-mentioned claim 8 like invention according to claim 12 said pattern It is the pattern with which the width of face of said 2nd direction contains at least one larger rectangle pattern than the width of face of said 2nd direction of said slit. Formation of said space image and detection of said photo-electric-translation signal are repeatedly performed about the space image of said pattern projected on the location where it differs in the image field of said projection optical system. As said predetermined processing The phase of two or more photo-electric-translation signals of each, acquired by said repeat, is detected. Based on the result of this phase detection, the location of the space image corresponding to said each photo-electric-translation signal can be computed, respectively, and suppose that it asks for at least the distortion of said projection optical system, and one side of a scale factor based on this calculation result.

[0033] Here, distortion is the aberration of the projection optical system which becomes the image at which what should become a straight line essentially around in the image field turned, like the case where there is a scale-factor error by distortion, a pattern image shifts from the position on the image surface, and image formation (carrying out a strike slip) is carried out.

[0034] Since it can ask for a location gap of the space image of the pattern projected on the location where it

differs in the image field of a projection optical system by the technique of phase detection with a respectively sufficient precision according to this invention, either [ at least ] distortion or a scale factor is measurable with a sufficient precision as a result. It is because it will become difficult under the effect of other aberration, such as comatic aberration, to measure distortion to accuracy if having presupposed the pattern that the width of face of the 2nd direction contains at least one larger rectangle pattern than the width of face of the 2nd direction of a slit here has the width of face of the 2nd direction of a pattern smaller than a slit.

[0035] In the image formation property measurement approach concerning invention given in above-mentioned claim 8 like invention according to claim 13 said pattern When the width of face of said 2nd direction is a pattern containing at least one larger rectangle pattern than the width of face of said 2nd direction of said slit Formation of said space image and detection of said photo-electric-translation signal are repeatedly performed about the space image of said pattern projected on the location where it differs in the image field of said projection optical system. As said predetermined processing Based on the intersection of two or more photo-electric-translation signals of each acquired by said repeat and predetermined slice level, the location of the space image corresponding to said each photo-electric-translation signal is computed, respectively. Suppose that it asks for at least the distortion of said projection optical system, and one side of a scale factor based on this calculation result.

[0036] According to this invention, by the technique of edge detection using a slice method, it can ask for the location of the space image of the pattern projected on the location where it differs in the image field of a projection optical system with a respectively sufficient precision, and distortion can be measured with a sufficient precision as a result. Here, a pattern depends on the same reason [ that we decided that the width of face of the 2nd direction contains at least one larger rectangle pattern than the width of face of the 2nd direction of a slit ] as the case of claim 12.

[0037] In the image formation property measurement approach of a publication, said pattern is good for above-mentioned claim 8 as a whole like invention according to claim 14 also as being the line and tooth-space pattern which have periodicity in said 1st direction by the shape of a rectangle. In this case, the signal of the time of a relative scan being carried out in the direction vertical to the periodic direction of a pattern, and a slit carrying out the slit scan of the rectangle pattern of the shape of the whole pattern configuration and isomorphism as a result with a slit scan method, when detection of the space image of a predetermined pattern is performed, and the same space image can be acquired. Space image measurement equivalent to the time of using this mark pattern is attained without forming actually by this, the BOX mark (inner BOX mark) pattern of 10-micrometer angle with which formation was made difficult in the latest CMP process, since dishing arises.

[0038] Like invention according to claim 15, in this case, formation of said space image, and detection of said photo-electric-translation signal It carries out repeatedly about the space image of said pattern projected on the location where it differs in the image field of said projection optical system. As said predetermined processing Based on the intersection of two or more photo-electric-translation signals of each acquired by said repeat and predetermined slice level, the location of the space image corresponding to said each photo-electric-translation signal is computed, respectively. It is good also as asking for at least the distortion of said projection optical system, and one side of a scale factor based on this calculation result.

[0039] In the image formation property measurement approach concerning invention given in above-mentioned claim 8 like invention according to claim 16 said pattern When it is the line and tooth-space pattern which have periodicity in the direction corresponding to said 2nd direction, as said predetermined processing Based on the intersection of said photo-electric-translation signal and predetermined slice level, the line breadth outlying observation of each of said line pattern can be computed, and suppose that the comatic aberration of said projection optical system is searched for based on this calculation result.

[0040] Comatic aberration is the aberration of the lens by scale factors differing by the various zona orbicularis of a lens, and is produced into the part of the image of the distance which is separated from the main shaft of a projection optical system. Therefore, in the location distant from the optical axis, the line breadth of each line pattern will differ among the space images of a line and a tooth-space pattern according to comatic aberration. Therefore, according to this invention which detects the line breadth outlying observation of each line pattern by the technique of edge detection using a slice method, it becomes possible

to measure comatic aberration often [ precision ] and easily.

[0041] In the image formation property measurement approach concerning invention given in above-mentioned claim 8 like invention according to claim 17 said pattern When it is the line and tooth-space pattern which have periodicity in the direction corresponding to said 2nd direction, as said predetermined processing The phase contrast of the 1st fundamental-frequency component corresponding to the pitch of each of said line pattern of said photo-electric-translation signal and the 2nd frequency component corresponding to the width of face of said line and the whole tooth-space pattern can be computed, and suppose that the comatic aberration of said projection optical system is searched for based on this calculation result. Since it is greatly influenced of comatic aberration so that the width of face of the scanning direction of the pattern set as the object of space image measurement is narrow, the effect of comatic aberration to the space image of each line pattern of a line and a tooth-space pattern and the effect of comatic aberration to the space image of the pattern at the time of putting a line and the whole tooth-space pattern at one pattern are different. Therefore, the phase contrast of the 1st fundamental-frequency component corresponding to the pitch of each line pattern of a photo-electric-translation signal and the 2nd frequency component corresponding to the width of face of a line and the whole tooth-space pattern is computed, and according to this invention which searches for the comatic aberration of a projection optical system based on this calculation result, the comatic aberration of a projection optical system can be searched for with a sufficient precision by the technique of phase detection.

[0042] In the image formation property measurement approach concerning invention given in above-mentioned claim 8 like invention according to claim 18 said pattern When it is the symmetry mark pattern which has at least two kinds of line patterns with which the line breadth arranged at intervals of predetermined in the direction corresponding to said 2nd direction differs, as said predetermined processing Based on the intersection of said photo-electric-translation signal and predetermined slice level, a gap of the symmetric property of the space image of said pattern can be computed, and suppose that the comatic aberration of said projection optical system is searched for based on this calculation result. As a result of carrying out the location gap of the space image of a line pattern with the thin width of face of a scanning direction greatly under the effect of comatic aberration, as for the space image of the symmetry mark pattern which has two or more kinds of line patterns with which the line breadth arranged at intervals of predetermined in the direction corresponding to a scanning direction differs, the symmetric property shifts greatly, so that comatic aberration is large. Therefore, by the technique of edge detection using a slice method, a gap of the symmetric property of the space image of said symmetric-property mark pattern is computed, and according to this invention which searches for the comatic aberration of a projection optical system based on the calculation result, the comatic aberration of a projection optical system can be searched for with a sufficient precision.

[0043] In order for invention according to claim 19 to be a space image metering device which measures the space image of the predetermined pattern formed of a projection optical system and to form the space image of said pattern on the image surface through said projection optical system, The lighting system which illuminates said pattern (10); while extending in the 1st direction in a two-dimensional flat surface vertical to the optical axis of said projection optical system It is the following ( $\lambda/NA$ ) to which the width of face of the 2nd direction vertical to this  $\lambda$  (ed) wavelength  $\lambda$  of said illumination light by numerical-aperture  $NA$  of said projection optical system more greatly than zero. The slit plate which has at least one slit (90); Photo electric translation of said illumination light which penetrated said slit plate is carried out. The optoelectric transducer which outputs the photo-electric-translation signal according to the reinforcement of said illumination light which penetrated said slit (24); where said pattern was illuminated by said lighting system and said space image is formed on said image surface While scanning said slit plate in said 2nd direction in said two-dimensional flat surface near [ said ] the image surface, it has the processor (20) and; which measure the optical intensity distribution corresponding to said space image based on the photo-electric-translation signal from said optoelectric transducer.

[0044] According to this, by the lighting system, a predetermined pattern is illuminated and the space image of this pattern is formed on the image surface through a projection optical system. And while the slit plate which has at least one slit prolonged in the 1st direction to the formed space image with a processor in a two-dimensional flat surface vertical to the optical axis of a projection optical system is scanned in the 2nd

direction in said two-dimensional flat surface near the image surface Based on the photo-electric-translation signal (electrical signal which carried out photo electric translation of the illumination light which penetrated the slit during the scan) from an optoelectric transducer, the optical intensity distribution corresponding to a space image are measured. That is, it does in this way and the space image of a predetermined pattern is measured by the slit scan method. Moreover, since the width of face of the scanning direction of the slit formed in the slit plate in this case is the following ( $\lambda/\text{N.A.}$ ), it can measure a space image in practically sufficient high precision like above-mentioned claim 3.

[0045] The substrate stage which invention according to claim 20 is an aligner which imprints the circuit pattern formed in the mask (R) to a substrate (W) through a projection optical system (PL), and holds said substrate (WST); said slit plate (90) is equipped with the space image metering device according to claim 19 which consisted of said substrate stages and one movable.

[0046] A space image metering device enables it to measure the space image of the various patterns for measurement to high degree of accuracy, forming the various patterns for measurement in a mask, and moving a slit plate to it by the substrate stage and one, for example according to this, since a slit plate is equipped with the space image metering device according to claim 18 which consisted of a substrate stage and one movable. Therefore, improvement in exposure precision is attained as a result by performing initial adjustment of the image formation property of a projection optical system etc., using this measurement result.

[0047] In this case, like invention according to claim 21, using said space image metering device, the optical intensity distribution corresponding to the space image of various mark patterns can be measured, and suppose that it has further the control unit (20) which searches for the image formation property of said projection optical system based on the data of said those measured optical intensity distribution. By the control unit, in this case, the optical intensity distribution corresponding to the space image of various mark patterns are measured, and it is asked for the image formation property of a projection optical system based on the data of the measured optical intensity distribution. Therefore, the thing which is the need and for which the image formation property of a projection optical system is searched for by the way becomes possible, and it becomes possible to adjust the image formation property of a projection optical system in advance of exposure initiation according to this image formation property searched for. Therefore, improvement in exposure precision is attained.

[0048] The mark detection system which detects the location of the mark on said substrate stage like invention according to claim 22 in the aligner concerning invention of a publication to above-mentioned claim 20 (ALG1 or ALG2); suppose that it has further the control unit which detects the relative-position relation between the projection location of the pattern of said mask by said projection optical system, and said mark detection system using said space image metering device. In this case, the relative-position relation (namely, the so-called amount of base lines of a mark detection system) between the projection location of the pattern of said mask by said projection optical system, i.e., the image formation location of the space image of said pattern, and a mark detection system is detected by the control unit using a space image metering device. In this case, since the projection location of a mask pattern is directly measurable in measurement of the amount of base lines with a space image metering device, compared with the case where the projection location of a mask pattern is indirectly measured using a reference mark plate and a reticle microscope, measurement of the amount of base lines with a high precision is possible. Therefore, improvement in exposure precision is attained by improvement in the superposition precision of a mask and a substrate by controlling the location of a substrate at the time of exposure etc. using this amount of base lines.

[0049]

[Embodiment of the Invention] << -- 1st operation gestalt>> -- the 1st operation gestalt of this invention is hereafter explained based on drawing 1 thru/or drawing 34 .

[0050] The rough configuration of the aligner 100 concerning the 1st operation gestalt is shown in drawing 1 . This aligner 100 is step - and the scanning projection aligner of - scanning method, i.e., the so-called scanning stepper.

[0051] This aligner 100 is equipped with the control system which holds the illumination system 10 containing the light source and an illumination-light study system, the reticle stage RST holding the reticle



R as a mask, a projection optical system PL, and the wafer W as a substrate, and controls the wafer stage WST as a substrate stage movable free, and these for the inside of XY flat surface.

[0052] Said illumination system 10 is constituted including a reticle blind, a condensing lens system, etc. as the light source, illuminance equalization optical system (it consists of a collimator lens, a fly eye lens, etc.), a relay lens system, and illuminated viewing field drawing (all are graphic display abbreviations at drawing 1 ).

[0053] As said light source, the excimer laser which outputs KrF excimer laser light (wavelength of 248nm) or ArF excimer laser light (wavelength of 193nm) shall be used as an example here.

[0054] Said reticle blind consists of movable reticle blinds 12 (refer to a graphic display abbreviation and drawing 2 in drawing 1 ) adjustable in the fixed reticle blind and the opening configuration where it does not illustrate [ of immobilization of an opening configuration ]. A fixed reticle blind is arranged in the field slightly defocused from the conjugation side over the pattern side of Reticle R, and rectangle opening which specifies the lighting field IAR of the shape of a rectangle slit on Reticle R is formed. Moreover, the movable reticle blind 12 is arranged in the conjugation side over the pattern side of the reticle R near the fixed reticle blind, and the location and width of face of a direction corresponding to the scanning direction (here, it considers as Y shaft orientations which are the space rectangular cross directions in drawing 1 ) and the non-scanning direction (X shaft orientations which are space longitudinal directions in drawing 1 ) at the time of scan exposure have adjustable opening, respectively.

[0055] According to the illumination system 10, after the illumination light (it is hereafter called "the illumination light IL") as an exposure light generated in the light source passes a non-illustrated shutter, it is changed into the flux of light with almost uniform illuminance distribution according to illuminance equalization optical system. The illumination light IL injected from illuminance equalization optical system reaches said reticle blind through a relay lens system. The flux of light which passed this reticle blind illuminates the lighting field (the width of face of elongation Y shaft orientations is the lighting field of the shape of a rectangle slit of predetermined width of face long and slender to X shaft orientations) IAR of Reticle R on which the relay lens system and the condensing lens system were passed, and the circuit pattern etc. was drawn with a uniform illuminance.

[0056] In addition, the movable reticle blind 12 is controlled by the main control unit 20 at the time of initiation of scan exposure, and termination, and exposure of an unnecessary part is prevented by restricting the lighting field IAR further. Moreover, the movable reticle blind 12 is used also for setting out of the lighting field in the case of measurement of the space image by the space image measuring instrument mentioned later with this operation gestalt.

[0057] Reticle R is being fixed by for example, vacuum adsorption (or electrostatic adsorption) on said reticle stage RST. A reticle stage RST is movable here at the scan speed specified as Y shaft orientations in the reticle non-illustrated base top while it can be driven very small two-dimensional in XY flat surface vertical to the optical axis AX of the projection optical system PL later mentioned by the reticle stage drive system which is not illustrated containing a linear motor etc. (to hand of cut of the circumference of the Z-axis which intersects perpendicularly with Y shaft orientations and XY flat surface which intersect perpendicularly with X shaft orientations and this (the direction of thetaz)). This reticle stage RST has the migration stroke of Y shaft orientations to which the whole surface of Reticle R can cross the optical axis AX of a projection optical system PL at least.

[0058] On the reticle stage RST, the migration mirror 15 which reflects the laser beam from the reticle laser interferometer (henceforth a "reticle interferometer") 13 is being fixed, and the location within XY side of a reticle stage RST is always detected by the reticle interferometer 13 with the resolution of about 0.5-1nm. here, on a reticle stage RST, the migration mirror which has the reflector which intersects perpendicularly with the migration mirror which has the reflector which intersects perpendicularly with the scanning direction at the time of scan exposure (Y shaft orientations), and a non-scanning direction (X shaft orientations) prepares actually -- having -- the reticle interferometer 13 -- these are typically shown for biaxial \*\*\*\*\* to Y shaft orientations by drawing 1 as the migration mirror 15 and a reticle interferometer 13 at one shaft and X shaft orientations.

[0059] The positional information of the reticle stage RST from the reticle interferometer 13 is sent to the main control unit 20 which consists of a workstation (or microcomputer), and carries out actuation control

of the reticle stage RST through a reticle stage drive system based on the positional information of a reticle stage RST in a main control unit 20.

[0060] said projection optical system PL can be set to drawing 1 of a reticle stage RST -- it is arranged caudad and the direction of the optical axis AX considers as Z shaft orientations -- having -- here -- a both-sides tele cent -- it is a rucksack cutback system and the dioptric system which consists of two or more lens element arranged at intervals of predetermined along the optical-axis AX direction is used. The projection scale factor of this projection optical system PL is one fifth as an example here. For this reason, if the slit-like lighting field IAR on Reticle R is illuminated by the illumination light IL from an illumination system 10, it will be formed in the exposure field [ \*\*\*\* / the cutback image (partial inverted image) of the circuit pattern of the reticle R in that slit-like lighting field IAR / said lighting field IAR on the wafer W with which the photoresist was applied to the front face ] IA through a projection optical system PL of the illumination light IL which passed this reticle R.

[0061] Said wafer stage WST is driven free in XY two-dimensional side (thetaz revolution is included) by the wafer stage drive system which is not illustrated [ which consists of a magnetic levitation mold two-dimensional linear actuator along stage base 16 top face ]. Here, since the two-dimensional linear actuator also has Z drive coil besides X drive coil and Y drive coil, the wafer stage WST has composition which can be driven very small also in the 3 degree-of-freedom directions of Z, theta x, and thetay.

[0062] The wafer holder 25 is laid on the wafer stage WST, and Wafer W is held by vacuum adsorption (or electrostatic adsorption) with this wafer holder 25.

[0063] In addition, what is necessary is to replace with the wafer stage WST, and just to carry the wafer holder 25 in the 3 degree-of-freedom directions of Z, theta x, and thetay on the two-dimensional migration stage through Z and the leveling table by which very small actuation is carried out with a voice coil motor etc., in using the two-dimensional migration stage driven only in XY two-dimensional side by drive systems, such as a linear motor or a flat-surface motor.

[0064] On said wafer stage WST, the migration mirror 27 which reflects the laser beam from the wafer laser interferometer (henceforth a "wafer interferometer") 31 is fixed, and the location within XY side of the wafer stage WST is always detected with the resolution which is about 0.5-1nm by the wafer interferometer 31 arranged outside.

[0065] here, on the wafer stage WST, the migration mirror which has the reflector which intersects perpendicularly with X shaft orientations which are the migration mirror and the non-scanning direction which have the reflector which intersects perpendicularly with Y shaft orientations which are scanning directions at the time of scan exposure prepares actually -- having -- the wafer interferometer 31 -- these are typically shown for biaxial \*\*\*\*\* to Y shaft orientations by drawing 1 as the migration mirror 27 and a wafer interferometer 31 at one shaft and X shaft orientations. The positional information (or rate information) of the wafer stage WST is sent to a main control unit 20, and controls the location within XY side of the wafer stage WST by the main control unit 20 through a non-illustrated wafer stage drive system based on said positional information (or rate information).

[0066] Moreover, on the wafer stage WST, the space image measuring instrument 59 used for measurement of the image formation property of a projection optical system PL is formed. Here, the configuration of this space image measuring instrument 59 is explained in full detail. This space image instrumentation 59 is formed in the protrusion section 58a part in which the upper part established in the end section top face of the wafer stage WST carried out opening, as shown in drawing 2 . This space image measuring instrument 59 is formed in the light-receiving glass 82 of a plane view rectangle inserted in from the upper part in the condition of plugging up opening of protrusion section 58a, and the top face of this light-receiving glass 82. The relay optical system which consists of the reflective film 83 which serves as the light-shielding film by which the slit 22 was formed in the part, and the lenses 84 and 86 arranged inside slit 22 lower-part wafer stage WST, The bending mirror 88 (here) which bends the optical path of the illumination-light bundle (image flux of light) relayed by this relay optical system (84 86) by the predetermined optical path length And light-receiving optical system is constituted by lenses 84 and 86 and the mirror 88, it is constituted including the photosensor 24 grade as an optoelectric transducer.

[0067] As a raw material of said light-receiving glass 82, good synthetic quartz or a good fluorite of the permeability of KrF excimer laser light or ArF excimer laser light etc. is used here. Moreover, the



optoelectric transducer which can detect a feeble light with a sufficient precision as a photosensor 24 (photo detector), for example, a photomultiplier etc., is used. In addition, with this operation gestalt, the slit plate is formed with light-receiving glass 82 and the reflective film 83. In the following explanation, the slit plate which consists of light-receiving glass 82 and the reflective film 83 shall be suitably called "the slit plate 90." Moreover, although the slit 22 is formed in the reflective film 83 like the above-mentioned, it explains as that by which the slit 22 is formed below in the slit plate 90 for convenience.

[0068] In the case of measurement of the projection image (space image) which minds the projection optical system PL of the pattern for measurement formed in Reticle R mentioned later with this operation gestalt If the slit plate 90 which constitutes the space image measuring instrument 59 by the illumination light IL which has penetrated the projection optical system PL is illuminated The illumination light IL which penetrated the slit 22 on the slit plate 90 is received with a photosensor 24 through the above-mentioned light-receiving optical system (84, 86, 88), and the photo-electric-translation signal (quantity of light signal) P according to the light income is outputted to a main control unit 20 from this photosensor 24.

[0069] In addition, a photosensor 24 may arrange a photosensor 24 to the exterior of the wafer stage WST like space image instrumentation 59' which does not necessarily need to prepare in the interior of the wafer stage WST, for example, is shown in drawing 3 . In drawing 3 , two heights 58a and 58b by which the top face was mostly made the same side with the front face of Wafer W are formed in the wafer stage WST. The slit plate 90 constituted like the case of drawing 2 is formed in heights 58a, and lenses 84 and 86 and a mirror 88 are arranged by the same physical relationship as drawing 2 inside the wafer stage WST of this slit plate 90 lower part. In this case, the light guide 85 is also contained inside the wafer stage WST. This light guide 85 is arranged in the location [ \*\*\*\* / that incidence edge 85a / the light-receiving side in which the slit 22 was formed ]. moreover, the light transmission lens 87 with which injection edge 85b of this light guide 85 was fixed to the top face of heights 58b -- it is arranged mostly just under.

[0070] Above the light transmission lens 87, the light-receiving lens 89 of a major diameter is arranged compared with this light transmission lens 87. The photosensor 24 is arranged in upper injection edge 85b of this light-receiving lens 89, and a location [ \*\*\*\* ]. These light-receiving lens 89 and a photosensor 24 maintain the above-mentioned physical relationship, and are contained in a case 92, and this case 92 is being fixed to the non-illustrated holddown member.

[0071] In the case of measurement of the projection image (space image) which minds the projection optical system PL of the pattern for measurement formed in Reticle R mentioned later in space image instrumentation 59' of this drawing 3 If the slit plate 90 which constitutes space image measuring instrument 59' by the illumination light IL which has penetrated the projection optical system PL is illuminated The illumination light IL which penetrated the slit 22 on the slit plate 90 carries out incidence to incidence edge 85a of a light guide 85 through a lens 84, a mirror 88, and a lens 86. After the light drawn by the light guide 85 is injected from the injection edge 85b, it is drawn by the exterior of the wafer stage WST through the light transmission lens 87. And the light drawn by the exterior of the wafer stage WST is received by the photosensor 24 through the light-receiving lens 89, and the photo-electric-translation signal (quantity of light signal) P according to the light income is outputted to a main control unit 20 from this photosensor 24.

[0072] In this case, since measurement of the projection image of the pattern for measurement is performed by the slit scan method, in that case, the light-receiving lens 89 and a photosensor 24 will move to the light transmission lens 87. So, in this space image measuring instrument 59', the magnitude of each lens is set up so that all the light through the light transmission lens 87 which moves within the limits of predetermined may carry out incidence to the light-receiving lens 89.

[0073] Thus, the optical derivation section which derives the light through a slit 22 outside the wafer stage WST with the slit plate 90, lenses 84 and 86, a mirror 88, a light guide 85, and the light transmission lens 87 is constituted, and the light sensing portion which receives the light drawn out of the wafer stage WST by the light-receiving lens 89 and the photosensor 24 consists of space image measuring instrument 59'. In this case, these light derivation section and a light sensing portion are separated mechanically. And only by facing space image measurement, the optical derivation section and a light sensing portion are optically connected through the light transmission lens 87 and the light-receiving lens 89.

[0074] That is, in space image instrumentation 59', since the photosensor 24 is formed in the predetermined location of the exterior of the wafer stage WST, it originates in generation of heat of a photosensor 24, and

does not have an adverse effect on the measurement precision of a laser interferometer 31 etc. Moreover, since the exterior and the interior of the wafer stage WST are not connected by a light guide etc., the actuation precision of the wafer stage WST does not receive an adverse effect like [ when the exterior and the interior of the wafer stage WST are connected by the light guide ].

[0075] In addition, the space image measurement approaches performed using the space image measuring instrument 59 (or 59'), such as a configuration of the slit 22 on the slit plate 90 which constitutes the space image measuring instrument 59 (or 59'), and a dimension, and the measurement approach of an image formation property are explained in full detail behind.

[0076] The off-axis alignment microscope ALG 1 as a mark detection system which detects the alignment mark on Wafer W (alignment mark) is formed in the side face of return and a projection optical system PL at drawing 1 . With this operation gestalt, the alignment sensor of the FIA (Filed Image Alignment) system of an image-processing method is used as this alignment microscope ALG 1. This alignment microscope ALG 1 is constituted including the light source 32 for alignment, a half mirror 34, the 1st objective lens 36, the 2nd objective lens 38, and image sensor (CCD) 40 grade, as shown in drawing 2 . Here, the halogen lamp which carries out outgoing radiation of the broadband illumination light as the light source 32 is used. Under this alignment microscope ALG 1, as shown in drawing 4 , by the illumination light from the light source 32, the alignment mark Mw on Wafer W is illuminated through a half mirror 34 and the 1st objective lens 36, and the reflected light from that alignment mark part is received at an image sensor 40 through the 1st objective lens 36, a half mirror 34, and the 2nd objective lens 38. Thereby, image formation of the light field image of the alignment mark Mw is carried out to the light-receiving side of an image sensor. And the photo-electric-translation signal corresponding to this light field image, i.e., the signal on the strength [ optical ] corresponding to the reflected image of the ally noodle \*\* mark Mw, is supplied to a main control unit 20 from an image sensor 40. In a main control unit 20, while computing the location of the alignment mark Mw on the basis of the detection core of the alignment microscope ALG based on this signal on the strength [ optical ], based on that calculation result and the positional information of the wafer stage WST which is the output of the wafer interferometer 31 at that time, the coordinate location of the ally noodle \*\* mark Mw in the stage system of coordinates specified with the optical axis of the wafer interferometer 31 is computed.

[0077] Furthermore, it has the light source by which turning on and off is controlled by the aligner 100 of this operation gestalt with a main control unit 20 to be shown in drawing 1 . Exposure optical-system 60a which irradiates the image formation flux of light for forming many pinholes or the image of a slit towards the image formation side of a projection optical system PL from the direction of slant to an optical axis AX, The multipoint focal location detection system (focal sensor) of the oblique incidence light type which consists of light-receiving optical-system 60b which receives the reflected light bundle in the wafer W front face of those image formation flux of lights is prepared. In a main control unit 20, when focal fluctuation arises in a projection optical system PL, by controlling the inclination to the optical axis of the reflected light bundle of the parallel plate which is not illustrated in light-receiving optical-system 60b, offset is given to a focal location detection system (60a, 60b) according to focal fluctuation of a projection optical system PL, and the calibration is performed. In addition, the detailed configuration of the focal location detection system (60a, 60b) of this operation gestalt and the same multipoint focal location detection system (focal sensor) is indicated by JP,6-283403,A etc.

[0078] Auto-focusing (automatic-focusing doubling) and auto leveling are performed by controlling Z location, the amount of pitching (thetax rotation), and the amount of rolling (thetay rotation) of the wafer stage WST by the main control unit 20 through a non-illustrated wafer stage drive system so that a focal gap serves as zero based on the focal gap signal (defocusing signal), for example, S curve signal, from light-receiving optical-system 60b at the time of the scan exposure mentioned later etc.

[0079] Next, actuation of the exposure process in the aligner 100 of this operation gestalt is explained briefly.

[0080] First, Reticle R is conveyed by the non-illustrated reticle conveyance system, and adsorption maintenance is carried out in the reticle stage RST in a loading position. Subsequently, the location of the wafer stage WST and a reticle stage RST is controlled, by the main control unit 20, using the space image instrumentation 59, as the projection image (space image) of the reticle alignment mark which is not

illustrated [ which was formed on Reticle R ] mentions later, it is measured (refer to drawing 2 ), and the projection location of a reticle pattern image is called for. That is, reticle alignment is performed.

[0081] Next, the wafer stage WST is moved and the slit 22 which serves as a datum reference of the space image instrumentation 59 according to the alignment optical system ALG 1 is detected so that the space image instrumentation 59 may be located directly under the alignment microscope ALG 1 with a main control unit 20. Signs that the slit 22 is detected by this alignment optical system ALG 1 are shown in drawing 5 . In a main control unit 20, the measurement value of the detecting signal of this alignment microscope ALG 1 and the wafer interferometer 31 at that time and a list are asked for the projection location of the pattern image of Reticle R and the relative position of base lines with the alignment optical system ALG 1, i.e., the amount of the alignment microscope ALG 1, based on the projection location of the reticle pattern image for which it asked previously.

[0082] After this base-line measurement is completed, by the main control unit 20, wafer alignment, such as EGA (en hunger strike global alignment) indicated by the detail, is performed to JP,61-44429,A etc., and the location of all the shot fields on Wafer W is called for. In addition, as the wafer alignment mark Mw of the predetermined sample shot as which it was beforehand determined of two or more shot fields on Wafer W mentioned above on the occasion of this wafer alignment using the alignment microscope ALG 1, it is measured by carrying out (refer to drawing 2 ).

[0083] Subsequently, in a main control unit 20, while positioning the wafer stage WST to the scan starting position of the 1st shot field, carrying out the monitor of the positional information from interferometers 31 and 13 based on the positional information and the amount of base lines of each shot field on the wafer W for which it asked in the top, a reticle stage RST is positioned to a scan starting position, and scan exposure of the 1st shot field is performed.

[0084] That is, in a main control unit 20, if the relative scan of Y shaft-orientations reverse sense of a reticle stage RST and the wafer stage WST is started and both the stages RST and WST reach each target scan speed, the pattern space of Reticle R will begin to be illuminated by the exposure light EL, and scan exposure will be started. Although luminescence of the light source is started in advance of initiation of this scan exposure, since the synchronusr control of the migration of each blade of the movable blind which constitutes a reticle blind with a main control unit 20 is carried out to migration of a reticle stage RST, it is the same as that of the usual scanning stepper that the exposure of the exposure light EL to the outside of the pattern space on Reticle R is shaded.

[0085] In a main control unit 20, the synchronusr control of a reticle stage RST and the wafer stage WST is carried out so that the passing speed  $V_r$  of Y shaft orientations of a reticle stage RST and the passing speed  $V_w$  of X shaft orientations of the wafer stage WST may be especially maintained by the velocity ratio according to the projection scale factor of a projection optical system PL at the time of the above-mentioned scan exposure.

[0086] And the field where the pattern spaces of Reticle R differ is serially illuminated by ultraviolet pulsed light, and when the lighting to the whole pattern space surface is completed, scan exposure of the 1st shot field on Wafer W is completed. Thereby, the cutback imprint of the circuit pattern of Reticle R is carried out to the 1st shot field through a projection optical system PL.

[0087] In this way, termination of scan exposure of the 1st shot field performs stepping actuation between the shots which move the wafer stage WST to the scan starting position of the 2nd shot field. And scan exposure of the 2nd shot field is performed like \*\*\*\*. Henceforth, actuation with the same 3rd shot field or subsequent ones is performed.

[0088] Thus, the stepping actuation between shots and scan exposure actuation of a shot are repeated, and the pattern of Reticle R is imprinted by the step and the scanning method by all the shot fields on Wafer W.

[0089] Here, during the above-mentioned scan exposure, the dip to a wafer W front face, and spacing with a projection optical system PL (the image surface) and XY flat surface (image surface) is measured by the projection optical system PL by the focal sensor (60a, 60b) attached in one, and the wafer stage WST is controlled so that spacing of a wafer W front face and a projection optical system PL and parallelism always become fixed with a main control unit 20.

[0090] By the way, during the above-mentioned scan exposure, in order for the pattern of Reticle R and the pattern already formed in the shot field on Wafer W to lay on top of accuracy, it is important that the image

formation property and the amount of base lines of a projection optical system PL are measured by accuracy, that the image formation property of a projection optical system PL is adjusted to the desired condition, etc.

[0091] With this operation gestalt, the space image measuring instrument 59 or 59' (hereafter, it represents and is described as "the space image measuring instrument 59") is used for measurement of the above-mentioned image formation property. Hereafter, the space image measurement by this space image measuring instrument 59, measurement of the image formation property of a projection optical system PL, etc. are explained in full detail.

[0092] The condition of the midst that the space image of the pattern for measurement formed in Reticle R is measured is shown in drawing 2 using the space image instrumentation 59. As reticle R, the thing only for space image measurement or the thing which formed the mark for measurement of dedication in the device reticle used for manufacture of a device is used. Instead of such reticles, the mark plate (called a reticle fiducial mark plate) of the immobilization which consists of the glass raw material of reticle and this construction material may be formed in a reticle stage RST, and what formed the mark for measurement (pattern for measurement) in this mark plate may be used.

[0093] Here, as shown in drawing 2, the pattern PM for measurement which changes from the line and space mark which have periodicity to X shaft orientations shall be formed in a predetermined part at Reticle R. Moreover, as shown in the slit plate 90 of the space image measuring instrument 59 at drawing 6 (A), the slit 22 of predetermined width-of-face 2D extended to Y shaft orientations shall be formed. In addition, below, a line and a tooth space are suitably sketched as "last shipment."

[0094] In measurement of a space image, the movable reticle blind 12 is driven through a non-illustrated blind driving gear with a main control unit 20, and the lighting field of the illumination light IL of Reticle R is specified only into the pattern PM part for measurement (refer to drawing 2). In this condition, if the illumination light IL is irradiated by Reticle R, as shown in drawing 2, the light (illumination light IL) which diffracted with the pattern PM for measurement and was scattered about will be refracted according to a projection optical system PL, and space image (projection image) PM' of the pattern PM for measurement will be formed in the image surface of this projection optical system PL. At this time, the wafer stage WST shall be set as the location where said space image PM' is formed in the +X side (or the -X side) of the slit 22 on the slit plate 90 of the space image measuring instrument 59. The top view of the space image measuring instrument 59 at this time is shown in drawing 6 (A).

[0095] And with a main control unit 20, as the wafer stage WST is shown by the arrow head F in drawing 6 (A) through a wafer stage drive system, when it drives in the direction of +X, a slit 22 is scanned by X shaft orientations to space image PM'. During this scan, the light (illumination light IL) which passes a slit 22 is received with a photosensor 24 through the light-receiving optical system in the wafer stage WST (the optical derivation section and a light-receiving lens when [ or ] it is drawing 3), and that photo-electric-translation signal is supplied at a main control unit 20. In a main control unit 20, the optical intensity distribution corresponding to space image PM' are measured through a non-illustrated signal-processing system based on the photo-electric-translation signal.

[0096] An example of the photo-electric-translation signal (signal on the strength [ optical ]) P acquired in the case of the above-mentioned space image measurement is shown in drawing 6 (B).

[0097] In this case, an image equalizes space image PM' under the effect of the width of face (2D) of the scanning direction of a slit 22, not a scanning direction but the scanning direction to the above-mentioned space image, i.e., X shaft orientations, at the time of scan exposure.

[0098] Therefore, the relation of on the strength signal m (x) which will be observed with intensity-distribution [ of a space image ] i (x) if m (x) can express [ the intensity distribution of p (x) and a space image ] a slit with the following (1) type for i (x) and the signal on the strength [ optical ] observed. Let the unit of intensity-distribution i (x) and on the strength signal m (x) be the reinforcement of the hit by unit length in this (1) type.

[0099]

[Equation 1]

$$m(x) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x-u) \cdot i(u) du \quad \dots(1)$$

[0100]

[Equation 2]

$$p(x) = \begin{cases} 1(|x| \leq D) \\ 0(|x| > D) \end{cases} \quad \dots(2)$$

[0101] That is, on the strength signal  $m(x)$  observed becomes the convolution of intensity-distribution [ of SURITSU\*\* $p(x)$  and a space image ]  $i(x)$ .

[0102] Therefore, from the field of measurement precision, width-of-face (it is only hereafter called "slit width") 2D of the scanning direction of a slit is so good that it is small.

[0103] As a function  $f$  of the wavelength  $\lambda$  of the illumination light IL, and numerical-aperture N.A. of a projection optical system PL ( $\lambda/\text{N.A.}$ ), the artificer repeated various simulation, an experiment, etc. and performed slit width 2D. Consequently, when it considered as slit width  $2D=n \cdot (\lambda/\text{N.A.})$  and considered as a multiplier  $n \leq 1$ , it was checked that it is fully practical, and it is more practical if it is especially  $n \leq 0.8$ . Here, it means that there is little degradation of an image profile in the case of the conversion of a space image  $\rightarrow$  space image signal on the strength by being practical, and it becomes unnecessary [ the big dynamic range ] at the signal-processing system after a photosensor 24 (optoelectric transducer) at it, and sufficient precision is acquired.

[0104] If an example of a result with the good above is shown, it will become as it is shown in the following table 1, for example.

[0105]

[A table 1]

波長(nm)	投影レンズの開口径	(A)波長/投影レンズの開口径	B=A×0.8
248	0.68	364	291
248	0.75	331	264
193	0.65	297	238
193	0.75	257	206
193	0.85	227	182

[0106] Although sufficient slit width (opening size: B in a table 1) changes with numerical aperture and wavelength as shown also in the above-mentioned table 1, 300nm or less of outlines is a suitable value. A slit of this level can be manufactured using commercial chromium reticle (called mask BURANKUSU.).

[0107] As for chromium reticle, the chromium film of about 100nm thickness is usually vapor-deposited by the quartz substrate. A quartz substrate has the standard thing of 2.286mm, 3.048mm, 4.572mm, and 6.35mm thickness.

[0108] If a scan speed is made late and many hours are spent on measurement even if slit width 2D is so good that it is small like \*\*\*\*, and slit width becomes very small, in using a photomultiplier as a photosensor 24 like this operation gestalt, detection of the quantity of light (optical reinforcement) is possible. However, since the scan speed at the time of space image measurement has fixed constraint from the field of a throughput actually, if slit width 2D is too small, the quantity of light which penetrates a slit 22 will become small too much, and measurement will be difficult.

[0109] According to the knowledge which the artificer acquired by simulation, experiment, etc., it was checked that the optimum value of slit width 2D serves as one half extent of the resolution limit pitch (pitch of a last shipment pattern) of an aligner. This is explained further in full detail later.

[0110] The space image metering device is constituted from this operation gestalt by the illumination-light study system 10, the space image instrumentation 59 (the slit plate 90 and a photosensor 24 are included), the wafer stage WST, and the main control unit 20 so that clearly from old explanation. Moreover, the processor which accomplishes some space image metering devices is constituted by the main control unit 20 among this.

[0111] The space image metering device and the space image measurement approach which were mentioned above are used for detection of an a. best focus location, detection of the image formation location of b. pattern image, base-line measurement of c. alignment microscope ALG, etc.

[0112] Since c. base-line measurement in the aligner 100 of this operation gestalt was already explained, detection of the above-mentioned a. best focus location and detection of the image formation location of b.

pattern image are explained hereafter, mixing an example.

<Detection of a best focus location> Detection of this best focus location is used for the objects, such as detection of the best focus location of for example, the A. projection optical system PL, detection of the best image formation side (image surface), and B. spherical-aberration measurement.

[0113] When it measures by the space image measurement approach of having mentioned above the space image of the last shipment mark of line width of face of 0.2 micrometers, and 50% of duty ratios, the result of image formation simulation is shown in drawing 7 - drawing 12. The conditions of this simulation are N.A.=0.68 of the wavelength of 248nm of the illumination light, and a projection optical system, and coherence factor  $\sigma=0.85$  of lighting, and are slit width  $2D=0.3$ micrometer. This condition is close to the conditions of B of a table 1. In addition, in drawing 7 - drawing 12, an axis of abscissa shows X location (micrometer) of a slit, and an axis of ordinate shows optical reinforcement (energy value).

[0114] Drawing 7 shows the simulation result in the Beth \*\* focus location. In this drawing 7, wave P2 shown as a continuous line are equivalent to  $i(x)$  of (1) type with the space image of 0.2micromL/S, and they equivalent to  $m(x)$  of (1) type with the signal on the strength [ optical ] from which wave P3 shown by the dotted line are obtained by the scan (space image measurement) of a slit.

[0115] Drawing 8 shows the spatial-frequency component at the time of carrying out the Fourier transform of the signal P3 of drawing 7 on the strength, i.e., the  $m(x)$  with the original signal P3 on the strength. In drawing 8, wave P7 wave P6 wave P5 wave P4 shown with a broken line are indicated to be with an alternate long and short dash line in a zero-order frequency component are indicated to be with a two-dot chain line in a primary frequency component are indicated to be as a continuous line in a secondary frequency component show the 3rd frequency component, respectively. In addition, by drawing 8, in order to make discernment easy, P4-P7 carry out piling only of 1.0, and they are shown.

[0116] Drawing 9 shows the simulation result at the time of defocusing 0.2 micrometers from a best focus location. In this drawing 9, wave P2 shown as a continuous line are equivalent to  $i(x)$  of (1) type with the space image of 0.2micromL/S, and they equivalent to  $m(x)$  of (1) type with the signal on the strength [ optical ] from which wave P3 shown by the dotted line are obtained by the scan (space image measurement) of a slit.

[0117] Drawing 10 shows the spatial-frequency component at the time of carrying out the Fourier transform of the signal P3 of drawing 9 on the strength with the original signal P3 on the strength. In drawing 10, wave P7 wave P6 wave P5 wave P4 shown with a broken line are indicated to be with an alternate long and short dash line in a zero-order frequency component are indicated to be with a two-dot chain line in a primary frequency component are indicated to be as a continuous line in a secondary frequency component show the 3rd frequency component, respectively. In addition, by drawing 10, in order to make discernment easy, P4-P7 carry out piling only of 1.0, and they are shown.

[0118] Drawing 11 shows the simulation result at the time of defocusing 0.3 micrometers from a best focus location. In this drawing 11, wave P2 shown as a continuous line are equivalent to  $i(x)$  of (1) type with the space image of 0.2micromL/S, and they equivalent to  $m(x)$  of (1) type with the signal on the strength [ optical ] from which wave P3 shown by the dotted line are obtained by the scan (space image measurement) of a slit.

[0119] Drawing 12 shows the spatial-frequency component at the time of carrying out the Fourier transform of the signal P3 of drawing 11 on the strength with the original signal P3 on the strength. In drawing 12, wave P7 wave P6 wave P5 wave P4 shown with a broken line are indicated to be with an alternate long and short dash line in a zero-order frequency component are indicated to be with a two-dot chain line in a primary frequency component are indicated to be as a continuous line in a secondary frequency component show the 3rd frequency component, respectively. In addition, by drawing 12, in order to make discernment easy, P4-P7 carry out piling only of 1.0, and they are shown.

[0120] The configuration of an image has collapsed clearly by 0.2-micrometer defocusing so that it may turn out that drawing 7 is compared with drawing 9. Moreover, when drawing 9 is compared with drawing 11, it turns out that the configuration of an image has collapsed further clearly with buildup of the amount of defocusing.

[0121] Moreover, as mentioned above, if the signal P3 on the strength [ optical ] is divided into a frequency component, various signal processing can be performed easily. for example, the gain of the primary

frequency component P5 and the zero-order frequency component P4 -- that is, (primary/zero-order), when its attention is paid to the contrast which is a gain, the contrast in the case of the best focus location shown in drawing 8 is 0.43. Moreover, the contrast at the time of defocusing 0.2 micrometers from the best focus location shown in drawing 10 is 0.24. Moreover, the contrast at the time of defocusing 0.3 micrometers from the best focus location shown in drawing 12 is 0.047.

[0122] Thus, since the contrast which is a (primary/zero-order) gain changes with focal locations sensitively, it is convenient to determine a best focus location from a signal on the strength. That is, a best focus location is detectable by asking for the focal location where the contrast which is a (primary/zero-order) gain serves as max.

[0123] So, with this operation gestalt, the best focus location of a projection optical system PL is detected as follows.

[0124] The reticle for measurement (it considers as reticle R' for convenience) in which the last shipment mark of line width of face of 0.2 micrometers (it is 1 micrometer on reticle) and 50% of duty ratios was formed as a pattern PM for measurement is used for detection of this best focus location for example, on a wafer. Detection of this best focus location shall be performed under the completely same conditions as the simulation mentioned above.

[0125] First, reticle R' is loaded on a reticle stage RST by the non-illustrated reticle loader. Next, in a main control unit 20, the pattern PM for measurement on reticle R' moves in a reticle stage RST so that it may be mostly in agreement on the optical axis of a projection optical system PL.

[0126] Next, with a main control unit 20, actuation control of the movable reticle blind 12 is carried out, and a lighting field is specified so that the illumination light IL may be irradiated by only the pattern PM part for measurement. The illumination light IL is irradiated at reticle R', and in this condition, a slit scan method performs space image measurement of the pattern PM for measurement like the above-mentioned like the above-mentioned in a main control unit 20 using the space image measuring instrument 59, scanning the wafer stage WST to X shaft orientations. Under the present circumstances, in a main control unit 20, a multiple-times repeat and the signal (photo-electric-translation signal) of each time on the strength [ optical ] are memorized to an internal memory, changing the location (namely, Z location of the wafer stage WST) of Z shaft orientations of the slit plate 90.

[0127] And in a main control unit 20, the Fourier transform of two or more signals (photo-electric-translation signal) on the strength [ optical ] acquired by said repeat is carried out, respectively, and the contrast which is the gain of each primary frequency component and zero-order frequency component is searched for. And in a main control unit 20, Z location (namely, location of Z shaft orientations of the slit plate 90) of the wafer stage WST corresponding to the signal on the strength [ optical ] with which that contrast serves as max is detected, and this location is determined as a best focus location of a projection optical system PL. Since contrast changes sensitively like the above-mentioned according to a focal location (the amount of defocusing), the best focus location of a projection optical system PL is easily [ often / precision / and ] measurable (decision).

[0128] In addition, although the amplitude of the frequency component of the secondary high order more than degree is generally small and the amplitude to an electric noise and an optical noise may fully be unable to be taken, in being satisfactory in respect of a S/N ratio (a signal/noise), even if it observes change of the gain of a high order frequency component, it can ask for a best focus location. Although it is desirable that it is the pattern line width of face and whose tooth-space width of face are 50% of equal duty ratios as for the last shipment mark which is a pattern for measurement, it is also possible to use the mark of the other duty ratio. According to the knowledge which the artificer acquired as a result of the experiment etc., when the array period PM of the line pattern of a last shipment mark, i.e., a mark pitch, was following (3) type extent, it became clear that a good result was obtained.

[0129]

$PM = \lambda / N.A. \times (1-1.2) \dots (3)$

In addition, detection of a best focus location is possible not only by the approach using the contrast mentioned above but the technique of detecting Z location (focal location) where the differential value of the signal P on the strength [ optical ] (m of (1) type (x)) serves as max.

[0130] Moreover, detection of the image surface configuration of a projection optical system PL can be



performed as follows.

[0131] That is, on the occasion of detection of this image surface configuration, as shown in drawing 13 as an example, the reticle R1 for measurement by which the patterns PM1-PMn for measurement of the same dimension [ as the pattern PM for measurement mentioned above ] same period were formed in pattern space PA is used.

[0132] First, reticle R1 is loaded on a reticle stage RST by the non-illustrated reticle loader. Next, in a main control unit 20, the pattern PMk for measurement which exists in the center of reticle R1 moves in a reticle stage RST so that it may be mostly in agreement on the optical axis of a projection optical system PL. Next, with a main control unit 20, actuation control of the movable reticle blind 12 is carried out, and a lighting field is specified so that the illumination light IL may be irradiated by only pattern PM1 part for measurement. In this condition, in a main control unit 20, the illumination light IL is irradiated at reticle R1, like the above-mentioned, a slit scan method detects space image measurement of the pattern PM 1 for measurement, and the best focus location of a projection optical system PL using the space image instrumentation 59, and that result is memorized to an internal memory.

[0133] With a main control unit 20, after detection of the best focus location using the pattern PM 1 for measurement is completed, actuation control of the movable reticle blind 12 is carried out, and a lighting field is specified so that the illumination light IL may be irradiated by only pattern PM2 part for measurement. In this condition, like the above, a slit scan method detects space image measurement of the pattern PM 2 for measurement, and the best focus location of a projection optical system PL, and that result is memorized to an internal memory.

[0134] Henceforth, in a main control unit 20, changing a lighting field, like the above, detection of measurement of a space image and the best focus location of a projection optical system PL is repeated, and is performed about the patterns PM3-PMn for measurement.

[0135] Based on each best focus locations Z1, Z2, ..., Zn obtained by this, the image surface configuration of a projection optical system PL is computed by performing a predetermined statistical procedure.

[0136] Since it is a field which consists of the set of the best focus point in the countless point (namely, countless point that the so-called height of an image differs) that the distance from an optical axis differs, the image surface, i.e., best image formation side, of a projection optical system PL, it can ask accuracy for an image surface configuration easily by such technique.

[0137] The above can perform detection of the best focus location of the A. projection optical system PL mentioned above, and detection of the best image formation side (image surface).

[0138] Moreover, detection of the spherical aberration of a projection optical system PL can be performed as follows.

[0139] That is, on the occasion of detection of this spherical aberration, as shown in drawing 14 , the reticle R2 for measurement of X shaft orientations in pattern space PA by which the patterns PM1 and PM2 for measurement of two predetermined distance \*\*\*\*\* were mostly formed in Y shaft orientations in the center is used, for example. The pattern PM 1 for measurement is a last shipment pattern of the same dimension [ as the pattern PM for measurement mentioned above ] same period. Moreover, the pattern PM 2 for measurement is a last shipment pattern located in a line with X shaft orientations the period (for example, about 1.5 to 2 times of the period (mark pitch) of the pattern PM 1 for measurement) from which the line pattern of the same dimension as the pattern for measurement differs.

[0140] First, reticle R2 is loaded on a reticle stage RST by the non-illustrated reticle loader. Next, in a main control unit 20, the pattern PM 1 for measurement on reticle R2 moves in a reticle stage RST so that it may be mostly in agreement on the optical axis of a projection optical system PL. Next, with a main control unit 20, actuation control of the movable reticle blind 12 is carried out, and a lighting field is specified so that the illumination light IL may be irradiated by only pattern PM1 part for measurement. In this condition, in a main control unit 20, the illumination light IL is irradiated at reticle R2, like the above-mentioned, a slit scan method detects space image measurement of the pattern PM 1 for measurement, and the best focus location of a projection optical system PL using the space image instrumentation 59, and that result is memorized to an internal memory.

[0141] In a main control unit 20, termination of detection of the best focus location using the pattern PM 1 for measurement carries out predetermined distance migration of the reticle stage RST in the direction of -Y



so that the illumination light IL may be irradiated by pattern PM2 part for measurement. In this condition, like the above, a slit scan method detects space image measurement of the pattern PM 2 for measurement, and the best focus location of a projection optical system PL, and that result is memorized to an internal memory.

[0142] Based on a difference with each best focus locations Z1 and Z2 obtained by this, the spherical aberration of a projection optical system PL is computed by the operation.

[0143] It is one of the aperture aberration of optical system, and when a bundle of rays with various openings from the object point on an optical axis carries out incidence of the spherical aberration to optical system, it is a phenomenon in which the corresponding image point does not carry out image formation to one point. Therefore, detection of the best focus location in the optical axis of a projection optical system can be repeatedly performed about two or more last shipment patterns of a different pitch, and spherical aberration can be easily searched for by the operation based on the difference of the best focus location corresponding to each pattern. In addition, the accuracy of measurement of the difference of the best focus location in this case needs to be about  $3\sigma < 20\text{nm}$  practically.

[0144] <Detection of the image formation location of a pattern image> Detection of the image formation location of a pattern image is performed for each object of the scale factor of C. projection optical system and distortion measurement, comatic-aberration measurement of D. projection optical system, and E. lighting TERESSEN measurement.

[0145] The pattern for measurement (mark used as the object for measurement) varies with the object. If it classifies, it will become as it is shown in the following table 2. Here, since it is desirable for the measurement result of the image formation property of a projection optical system based on space image measurement to be in agreement with the measurement result of the image formation property can be burned and according to law mentioned above and a basic target, with a table 2, it can be burned and the mark for space image measurement (pattern for space image measurement) is shown with the mark for measurement.

[0146]

[A table 2]

目的	焼き付け測定用マーク	空間像計測用マーク
C投影レンズ倍率・ディストーション測定	Box in Box Mark、 大L/Sマーク	Box in Box Mark、 大L/Sマーク
D投影レンズコマ収差測定	Line in Box Mark、 L/Sマーク	Line in Box Mark、 L/Sマーク、大小L/Sマーク
E照明テレセン測定	Box in Box Mark、 大L/Sマーク	Box in Box Mark、 大L/Sマーク

[0147] Next, the scale factor of a projection optical system PL and distortion measurement are explained. On the occasion of the scale factor of this projection optical system PL, and distortion measurement, as shown in drawing 15, the reticle R3 for measurement in which the patterns BM1-BM5 for measurement which change from the square mark of a total of five 150-micrometer angles (it is 30-micrometer angle on a wafer side at the projection scale factors 1/5) to the core of pattern space PA and the part of four angles were formed is used, for example. moreover, on the slit plate 90 which constitutes the space image measuring instrument 59 in this case While slit 22a of the predetermined width of face W extended to X shaft orientations as shown in drawing 16, and die-length L, and slit 22b of the predetermined width of face W extended to Y shaft orientations and die-length L are formed Light-receiving shall be possible also about the light which penetrated any of Slits 22a and 22b with the internal light-receiving optical system and the internal photosensor 24 (or the optical derivation section and the light sensing portion of drawing 3) of the wafer stage WST. Here, W is 0.3 micrometers and L is 25 micrometers.

[0148] First, reticle R3 is loaded on a reticle stage RST by the non-illustrated reticle loader. Next, in a main control unit 20, the core of the pattern BM 1 for measurement which exists in the center of reticle R3 moves in a reticle stage RST so that it may be mostly in agreement on the optical axis of a projection optical system PL. Next, with a main control unit 20, actuation control of the movable reticle blind 12 is carried out, and a lighting field is specified so that only a somewhat larger rectangle field part than the pattern BM 1 for measurement with which the illumination light IL contains the pattern BM 1 for measurement may irradiate. In this condition, the illumination light IL is irradiated with a main control unit 20 at reticle R3. Thereby, as shown in drawing 16, the pattern image of the shape of a square of space image BM1' of the

pattern BM 1 for measurement, i.e., about 30micro angle, is formed.

[0149] Space image measurement of the pattern PM 1 for measurement is performed using the space image measuring instrument 59, scanning the wafer stage WST to X shaft orientations in a main control unit 20, in this condition, as shown to drawing 16 by the arrow head A, and on the strength [ optical ] signal  $m(x)$  obtained by that measurement is memorized in memory. Next, in a main control unit 20, it asks for the image formation location of the pattern PM 1 for measurement by the technique of well-known phase detection based on obtained on the strength [ optical ] signal  $m(x)$ . Here, as the technique of this phase detection, while asking for the sum for a product, for example, one period, with the sine wave used as the criteria of the same frequency as the primary frequency component (it can be considered that this is a sine wave) and this which are obtained by carrying out the Fourier transform of the on the strength [ optical ] signal  $m(x)$ , it asks for the sum for a product with the cosine wave used as the criteria of the same period as said primary frequency component and this, for example, one period, for example. And the general method of searching for the phase contrast over the reference signal of a primary frequency component, and asking for the X location  $x_1$  of the pattern PM 1 for measurement based on this phase contrast can be used by asking for the arc tangent (arc tangent) of the quotient obtained by doing the division of the obtained sums.

[0150] Next, in a main control unit 20, space image measurement of the pattern PM 1 for measurement is performed using the space image measuring instrument 59, scanning the wafer stage WST to Y shaft orientations, and on the strength [ optical ] signal  $m(y)$  obtained by the measurement is memorized in memory. And it asks for the Y location  $y_1$  of the pattern PM 1 for measurement by the technique of the same phase detection as the above. And in a main control unit 20, the location gap to the optical-axis core of reticle R3 is amended based on the coordinate value  $(x_1, y_1)$  of the obtained pattern PM 1 for measurement.

[0151] With a main control unit 20, after amendment of a location gap of the above-mentioned reticle R3 is completed, actuation control of the movable reticle blind 12 is carried out, and a lighting field is specified so that only a somewhat larger rectangle field part than the pattern BM 2 for measurement with which the illumination light IL contains the pattern BM 2 for measurement may irradiate. In this condition, like the above, a slit scan method performs space image measurement of the pattern BM 2 for measurement, and measurement of that XY location, and that result is memorized to an internal memory.

[0152] Henceforth, in a main control unit 20, changing a lighting field, like the above, measurement of a space image and measurement of XY location are repeated, and are performed about the patterns BM3-BM5 for measurement.

[0153] Based on the coordinate value  $(x_2, y_2)$  of the patterns BM2-BM5 for measurement obtained by this,  $(x_3, y_3)$ ,  $(x_4, y_4)$ , and  $(x_5, y_5)$ , at least the scale factor of a projection optical system PL and one side of distortion are computed by performing a predetermined operation.

[0154] Distortion is the aberration of the projection optical system PL which becomes the image at which what should become a straight line essentially around in the image field turned, like the case where there is a scale-factor error by this distortion, a pattern image shifts from the position on the image surface, and image formation (carrying out a strike slip) is carried out.

[0155] Therefore, since it can ask with a respectively sufficient precision, either [ at least ] distortion or a scale factor is measurable with a sufficient precision according to the measurement approach of of the scale factor and distortion which were mentioned above, as a result with the technique of phase detection of a location gap of the space image of each pattern for measurement projected on the location where it differs in the image field of a projection optical system PL.

[0156] However, in pattern image BMn' ( $n=1, 2, \dots, 5$ ) of single 30-micrometer angle, even if it carries out a slit scan, the edge of the image has only two places and measurement precision may not be acquired enough. In such a case, what is necessary is just to use the reticle in which the pattern for measurement (referred to as "CM1-CM5" for convenience) which consists of the big last shipment pattern which is extent which does not almost have being influenced of comatic aberration, for example, a last shipment pattern with a line width of face of 5 micrometers or more, (this space image turns into a last shipment pattern image with a line width of face of 1 micrometer) replaced with the patterns BM1-BM5 for measurement, and was formed. In case space image measurement is performed using such reticle, the condition that space image CMn' ( $n=1, 2, \dots, 5$ ) of the patterns CM1-CM5 for measurement was formed on the slit plate 90 is shown in drawing 17.

[0157] In addition, in a top, by the technique of phase detection, although a location gap of the space image of the pattern for measurement shall be measured Space image measurement of a slit scan method is repeatedly performed not only like this but like the above-mentioned about the space image (BMn' or CMn') of the pattern for measurement (BMn or CMn) projected on the location where it differs in the image field of a projection optical system PL. Based on an intersection with predetermined slice level, the location (location of an edge) of the space image (BMn' or CMn') corresponding to each photo-electric-translation signal is computed, respectively. two or more on the strength [ optical ] signals  $m(x)$  (photo-electric-translation signal) obtained by the repeat -- respectively -- \*\* -- It is good also as asking for at least the distortion of a projection optical system PL, and one side of a scale factor based on this calculation result. By the technique of edge detection in which the slice method was used, in this case, it can ask for the location of the space image (BMn' or CMn') projected on the location where it differs in the image field of a projection optical system PL with a respectively sufficient precision, and either [ at least ] distortion or a scale factor can be measured with a sufficient precision as a result to it. In this case, each signal on the strength [ optical ] is made binary with the set-up slice level, and when setting out of that slice level is appropriate, it becomes measuring the edge location of the resist image actually acquired by baking, and equivalence so that it can imagine from the relation between wave P2 of drawing 7 , and P3.

[0158] By the way, in the present aligner, management of the distortion (a scale factor is included) of a projection optical system is performed as follows using the criteria wafer. With a criteria wafer, after imprinting the outer BOX mark of 30-micrometer angle in the exposure field by the projection optical system, it etches through a development process here, and the location of the edge of an outer BOX mark is beforehand measured with an interference-of-light-wave type coordinate measuring machine etc. after the etching. And the resist image of the inner BOX mark of 10-micrometer angle can be burned on the core of the outer BOX mark of 30-micrometer angle etched at the time of distortion measurement of an aligner, and a relative position is measured with a registration measuring instrument etc.

[0159] Therefore, if distortion measurement is performed by detecting the space image of the BOX mark of 10-micrometer angle by the technique of edge detection on a wafer (on the image surface), it will become the time of distortion measurement of the above [ the effect of comatic aberration ] using a criteria wafer, and an EQC, and a relative difference will not occur. For this reason, distortion can be measured now from a space image in a precision (accuracy) equivalent to the distortion measurement using the above-mentioned criteria wafer.

[0160] In order to realize this, it is possible to form the inner BOX mark of 50-micrometer angle (wafer top 10-micrometer angle) in the device reticle mentioned above or a reticle fiducial mark plate. However, in the latest CMP process, since dishing arises, it is not put into the mark of a wafer top 10-micrometer angle.

[0161] Then, the artificer reached the conclusion that what is necessary is just to perform space image measurement using the mark (it is hereafter called a "false BOX mark" suitably) which subdivided the non-measuring direction (it is not necessary to be 10 micrometers) of the BOX mark of a wafer top 10-micrometer angle in the shape of a stripe, as a result of inquiring wholeheartedly. The signal wave form where the reason will be acquired if a false BOX mark is so-called kind of a last shipment pattern, scans a space image measuring instrument in the direction vertical to the periodic direction and performs space image measurement with a slit scan method is because the signal wave form acquired from the space image of a BOX mark and the same signal wave form are acquired.

[0162] An artificer replaces with the patterns BM1-BM5 for measurement of the reticle R3 for measurement shown in drawing 15 . Reticle R3' for measurement in which the false box pattern which subdivided the pattern for measurement in the shape of a stripe about the direction of X was formed is used. As a result of the same procedure as the above-mentioned performing distortion measurement of the projection optical system PL by the technique of edge detection, becoming a value equivalent to Y location of the pattern BMn for measurement as a Y location of each pattern for measurement was checked. Distortion measurement can be performed by preparing the reticle for measurement in which the false box pattern subdivided about the direction of Y and the false box pattern subdivided about the direction of X were formed, and carrying out the relative scan of each pattern for measurement from this, to Slits 22a and 22b.

[0163] An example of the mark block (300-micrometer angle) with which the pattern for measurement of the false box pattern subdivided about the direction of Y mentioned above, the false box pattern subdivided

about the direction of X, and others was formed in drawing 18 is shown. In this drawing 18, signs MM1 and MM2 are scale-factor measurement patterns which consist of 5micromL/S mark of five, signs MM3 and MM4 are focal measurement patterns which consist of 1micromL/S mark of 29, and signs MM5 and MM6 are false box patterns which consist of 2.5micromL/S mark of 11. The mark block of this drawing 18 is formed in for example, device reticle or a reticle fiducial mark plate. In addition, for example, below 2.5micromL/S extent (wafer top 0.5micromL/S extent) of fragmentation of a false box pattern is desirable. [0164] Next, the measurement approach of the comatic aberration of a projection optical system is explained. The 1st approach measurement of comatic aberration uses a last shipment mark as a pattern for measurement, and the 2nd approach using a Line in Box mark as a pattern for measurement are mentioned typically.

[0165] (The 1st approach) When it can be burned and measures comatic aberration by law, the method of using the line breadth outlying observation of the small last shipment mark image near the resolution limit is learned. Here, line breadth outlying observation is a value used as the index showing the unsymmetrical degree of the resist image formed of baking. For example, if it explains taking the case of the resist image of 0.2micromL/S mark (design value) shown in drawing 19, the line breadth outlying observation A will be defined like the following (4) types using the line breadth L1 and L5 of the line pattern of ends.

[0166]

[Equation 3]

$$A = \frac{L1 - L5}{L1 + L5} \quad \dots(4)$$

[0167] A is usually engine performance less than 3% is wished to a projection optical system (projection lens).

[0168] Also in space image measurement, the line breadth outlying observation of such a last shipment pattern image is directly measurable. In this case, although what is necessary is just to use the technique of the edge detection by the slice method explained previously, it is desirable to determine that threshold as slice level by being in charge of the decision of slice level, making binary the signal on the strength [ optical ] corresponding to a space image with a suitable threshold (threshold level), and performing easy resist image simulation of bringing close to the line breadth of a resist image.

[0169] Hereafter, the measurement approach of the comatic aberration by measurement of this line breadth outlying observation is explained. As shown in drawing 20, the reticle R4 for measurement by which the patterns DM1-DM5 for measurement were formed in a total of five places of the core of pattern space PA and the part of four angles is used for measurement of this comatic aberration. As patterns DM1-DM5 for measurement, the last shipment pattern which has periodicity is used for X shaft orientations of 50% of duty ratios by line width of face of 1 micrometer (it is 0.2 micrometers on a wafer side). Moreover, the configuration of the slit plate 90 which constitutes the space image measuring instrument 59 in this case, and the space image measuring instrument 59 etc. has the same composition as the time of the scale factor and distortion measurement mentioned above.

[0170] In this case, in a main control unit 20, in the same procedure as the time of the scale factor and distortion measurement mentioned above, reticle alignment and space image measurement are performed, and on the strength [ optical ] signal m (x) corresponding to the space image (it considers as DM2'-DM5') of the patterns DM2-DM5 for measurement is obtained.

[0171] And it asks for the intersection of this obtained each on the strength [ optical ] signal m (x) and predetermined slice level, respectively, and asks for the line width of face of each line about each of space image DM2' - DM5' from the X coordinate of that called-for intersection, and based on this line width of face, each line breadth outlying observation is computed based on (4) types, and the comatic aberration of a projection optical system PL is searched for based on this calculation result.

[0172] Comatic aberration is the aberration of the lens by scale factors differing by the various zona orbicularis of a lens, and is produced into the part which is separated from the main shaft in the image field of a projection optical system PL. Therefore, in the location distant from the optical axis, the line breadth of each line pattern will differ among the space images of a last shipment pattern according to comatic aberration. Therefore, according to the above-mentioned method of detecting the line breadth outlying observation of each line pattern by the technique of edge detection using a slice method, it becomes possible

to measure comatic aberration often [ precision ] and easily.

[0173] In addition, since each patterns DM1-DM5 for measurement are independent last shipment patterns containing five line patterns, when the measurement precision of line breadth outlying observation is inadequate, the compound mark pattern with which five last shipment patterns constructed more than one the predetermined period, and have been arranged as each pattern for measurement may be used as each pattern for measurement. When such a compound mark pattern is used as a pattern for measurement (referred to as EM), signs that space image EM' of the pattern EM for measurement was formed on the slit plate 90 are shown in drawing 21 .

[0174] The frequency component  $f_1$  of 0.4-micrometer pitch corresponding to [ as this space image EM' is shown in drawing 22 ] the pitch of each line pattern of two fundamental frequency components, i.e., a photo-electric-translation signal, (the 1st fundamental-frequency component), every -- the 2nd fundamental-frequency component corresponding to the width of face of the whole L/S pattern, i.e., here, -- every -- it has the frequency component  $f_2$  corresponding to 3.6-micrometer pitch which is the repeat period (arrangement pitch of the mark group who consists of a mark of five) of a L/S pattern.

[0175] Like the above-mentioned, therefore, in a main control unit 20 In the same procedure as the time of the scale factor and distortion measurement mentioned above, reticle alignment, When space image measurement is performed and on the strength [ optical ] signal  $m(x)$  corresponding to the space image (it considers as EM2'-EM5') of the patterns EM2-EM5 for measurement is obtained, and the 1st fundamental-frequency component of each signal on the strength [ optical ], It is good also as computing by the technique of phase detection in which phase contrast with the 2nd fundamental-frequency component was mentioned above, and searching for the comatic aberration of a projection optical system PL based on this calculation result.

[0176] Since it is greatly influenced of comatic aberration so that the width of face of the scanning direction of the pattern set as the object of space image measurement is narrow, the effect of comatic aberration to the space image of each line pattern of a last shipment pattern and the effect of comatic aberration to the space image of the pattern at the time of putting the whole last shipment pattern at one pattern are different. Therefore, the phase contrast of the 1st fundamental-frequency component corresponding to the pitch of each line pattern of a photo-electric-translation signal and the 2nd fundamental-frequency component corresponding to the width of face of the whole last shipment pattern is computed, and according to the above-mentioned method of searching for the comatic aberration of a projection optical system based on this calculation result, the comatic aberration of a projection optical system PL can be searched for with a sufficient precision by the technique of phase detection. In addition, as for the ratio of the arrangement pitch (the upper example 3.6 micrometers) of the mark group who consists of an arrangement pitch (the upper example 0.4 micrometers) of this field notch mark, and a mark of five, considering as an integral multiple is desirable from signal processing.

[0177] (The 2nd approach) Next, the 2nd measuring method of comatic aberration is explained. By this approach, as shown in drawing 23 (A), the reticle R5 for measurement by which the patterns FM1-FM5 for measurement were formed in a total of five places of the core in pattern space PA and the part of four angles is used. The mark pattern called Line in Box Mark as shown by expanding to drawing 23 (B) as a pattern FMn ( $n = 1, 2, \dots, 5$ ) for measurement is used. As this mark pattern is shown in drawing 23 (B), one side is this alignment inside the square pattern of D1 ( $1 = 150$  micrometers of for example, D), and one side is the mark pattern with which the tooth-space pattern (width of face D3) of the square of D2 ( $2 = 100$  micrometers of for example, D) was formed. If it can be burned on a wafer and this pattern FMn for measurement is developed, the striation of 20-micrometer angle will be simultaneously formed in the core of the resist remnants mark of 30-micrometer angle. As for a striation, it is desirable to consider as the size of (wavelength / N.A.) / or less 2 extent, therefore, as for D3, it is desirable that it takes the 5 or less times for extent. For example, D3 is set to 0.5 micrometers.

[0178] Since a strike slip will be larger than a thick wire and the direction of a thin line will occur if image formation of this pattern FMn for mark measurement is carried out by the projection optical system with comatic aberration, a striation carries out eccentricity and symmetric property collapses. Therefore, the effect of comatic aberration can be known by measuring the eccentricity of the striation, i.e., extent of how depending on which symmetric property collapses.

[0179] Moreover, the configuration of the slit plate 90 which constitutes the space image measuring instrument 59 in this case, and the space image measuring instrument 59 etc. has the same composition as the time of the scale factor and distortion measurement mentioned above.

[0180] So, in a main control unit 20, in the same procedure as the time of the scale factor and distortion measurement mentioned above, reticle alignment and space image measurement are performed, and on the strength [ optical ] signal  $m(x)$  corresponding to the space image (it considers as FM2'-FM5') of the patterns FM2-FM5 for measurement is obtained.

[0181] And based on the intersection of each signal on the strength [ optical ] and predetermined slice level, a gap of the symmetric property of space image FM2' of the pattern for measurement - FM5' is computed, and the comatic aberration of a projection optical system PL is searched for based on this calculation result.

[0182] Thus, by the technique of edge detection using a slice method, a gap of the symmetric property of the space image of the patterns FM2-FM5 for measurement is computed, and according to the above-mentioned method of searching for the comatic aberration of a projection optical system PL based on the calculation result, the comatic aberration of a projection optical system PL can be searched for with a sufficient precision.

[0183] It thinks, also when SURITSU \*\* of the non-measuring direction interferes with a space image on arrangement of the slits 22a and 22b on the slit plate 90 in the above-mentioned case. In such a case, the 1-dimensional mark of the bilateral symmetry to which it replaced with the above-mentioned mark FMn for measurement, for example, the thick line pattern with a line breadth of about 50 micrometers and the thin line pattern with a line breadth of about 0.5-0.75 micrometers were located in a line in the measurement direction at intervals of predetermined (for example, about 50 micrometers) may be used as a pattern for measurement.

[0184] The condition that space image GMn' of such a pattern for measurement (referred to as GMn) was formed on the slit plate 90 is shown in drawing 24 . In this drawing 24 , D4 is 10 micrometers and D5 is 0.1-0.15 micrometers. The comatic aberration of a projection optical system PL may be detected by detecting by the approach of the edge detection by the slice method which mentioned above the signal on the strength [ optical ] corresponding to such space image GMn'.

[0185] As a result of carrying out the location gap of the space image of a line pattern with the thin width of face of a scanning direction (the measurement direction) greatly under the effect of comatic aberration, as for the space image of the symmetry mark pattern which has two or more kinds of line patterns with which the line breadth arranged at intervals of predetermined in the direction corresponding to a scanning direction differs like the pattern (GMn) for measurement, the symmetric property shifts greatly, so that comatic aberration is large.

[0186] Therefore, according to the approach of detecting a gap of the symmetric property of above-mentioned space image GMn', the comatic aberration of a projection optical system PL is detectable with a sufficient precision.

[0187] Of course, in order to improve measurement repeatability also in this case, it is good also as detecting space image HM' of a pattern for measurement like drawing 25 by which repeat arrangement was carried out.

[0188] Next, the measuring method of lighting TERESSEN is explained.

[0189] Lighting TERESSEN measures and determines the amount from which an image position changes with defocusing. As a pattern for measurement, a scale factor and the big mark pattern which is not influenced of comatic aberration like De Dis \*\* -SHON measurement are used. When it burns and is based on the \*\* method, Boxin Box Mark or a large last shipment mark is used, it is three points, a best focus location, the defocusing location which is about +1 micrometer, and the defocusing location which is about -1 micrometer, and exposes, respectively, the relation between an image position and a focal location is measured, and calculating lighting TERESSEN (= (the amount of strike slips / the amount of defocusing of an image)) is performed.

[0190] Using the big mark which is not similarly influenced of comatic aberration with be burned, in space image measurement, the absolute location of a space image is measured in each focal location, and it calculates lighting TERESSEN.

[0191] As explained to the detail above, according to the aligner 100 of the operation gestalt of \*\*\*\* 1 From



having the space image measuring instrument 59 which has slit width  $2D = n \cdot (\lambda / N.A.)$  and the slit plate 90 which is  $n \leq 0.8$ . By performing space image measurement of the pattern for measurement on reticle or a reticle fiducial mark plate using this space image instrumentation, little highly precise space image measurement of degradation of an image profile is attained in the case of conversion of a space image  $\rightarrow$  space image signal on the strength. In this case, the big dynamic range becomes unnecessary at the signal-processing system after a photosensor 24 (optoelectric transducer).

[0192] Moreover, in an aligner 100, a main control unit 20 can measure measurement of the space image by the above-mentioned slit scan method, and the various image formation properties of the projection optical system PL using this measurement result which was mentioned above to high degree of accuracy using the space image measuring instrument 59. Therefore, it can be based on the measurement result of this image formation property, for example, optical-character ability of a projection optical system PL can be adjusted to high degree of accuracy at the time of starting of the aligner in works etc. Especially or about distortion or a scale factor The above-mentioned measurement is performed periodically and it is based on this measurement result. The image formation property compensator which is not illustrated [ of a projection optical system PL ] (For example, equipment [ carry out Z and tilt actuation of the specific lens element which constitutes a projection optical system and ]) Or distortion, a scale factor (especially non-scanning direction at the time of scan exposure), etc. can be amended using the equipment which adjusts the internal pressure of the sealed cabin prepared between the specific lenses which constitute a projection optical system. In addition, amendment of the scale factor of the scanning direction at the time of scan exposure is performed by adjusting one [ the reticle for example, at the time of scan exposure, and / at least ] scan speed of a wafer.

[0193] Thus, in an aligner 100, since exposure is performed by adjustment of the image formation property of a projection optical system using the projection optical system PL by which the image formation property was adjusted to high degree of accuracy, for example in advance of the initial adjustment of the image formation property of a projection optical system, or exposure initiation, improvement in exposure precision is attained as a result.

[0194] Moreover, by controlling the location of Wafer W by the aligner 100 using that amount of base lines at the time of exposure etc., since detection of the amount of base lines of the alignment microscope ALG 1 as a mark detection system is performed with a sufficient precision by the main control unit 20 using the space image instrumentation 59, improvement in the superposition precision of reticle and a wafer is possible, and improvement in exposure precision is possible also in this point.

[0195] In addition, although slit width  $2D$  explained the case where it was determined in consideration of both wavelength  $\lambda$  of the illumination light, and numerical-aperture N.A. of a projection optical system PL, with the above-mentioned operation gestalt, this invention is not limited to this.

[0196] That is, slit width  $2D$  may be defined in consideration of wavelength  $\lambda$  or numerical-aperture N.A. Even if it uses the space image measuring instrument equipped with the slit plate which has the slit of such slit width  $2D$ , high measurement of the precision of the space image (distribution of image reinforcement) of a predetermined pattern is possible by the slit scan method like the above-mentioned operation gestalt.

[0197] Next, the decision of slit width ( $2D$ ) is explained further. Here, the case of focal measurement is taken up as an example and the decision approach of suitable slit width is explained.

[0198] It asks by detecting Z location (Z coordinate of a contrast peak) of the slit plate 90 where the contrast which is the (primary/zero-order) gain of a multiple-times repeat and the signal on the strength [ optical ] acquired by this serves as max with a slit scan method in space image measurement of the pattern for measurement, measurement of the best focus location of a projection optical system changing the location of Z shaft orientations (the direction of an optical axis) of the slit plate 90 like the above-mentioned.

[0199] Usually, on the occasion of detection of a best focus, it is 0.15 micrometers in pitch spacing, and 15-step (step) extent change of the slit plate 90 is carried out.

[0200] Here, an example of the above-mentioned best focus detection is explained using drawing 26. This drawing 26 shows an axis of abscissa for the measurement value (x mark in drawing 26) of the contrast of 13 points which the slit plate 90 was changed to Z shaft orientations in 13 steps (step), and was acquired on each point as the Z-axis. Based on the measurement value of the contrast of 13 points shown by x mark in

drawing 26 , it asks for the 4th approximation about curve C with the least square method. It asks for the intersection of this approximation curve C and the suitable threshold (threshold level) SL, and let the middle point of distance =2B during an intersection be a Z coordinate value corresponding to \*\* SUTOFOKASU. [0201] The same diagram as drawing 26 is shown in drawing 27 . However, by this drawing 27 , an axis of ordinate shows the amplitude (or first order mentioned later) of a primary component. A focal detection precision when making immobilization the range of WZ (the number of = step pitch x data) in drawing 27 here is considered.

[0202] (1) If the amplitude of a primary component is set to S when a shot noise is dominant, a shot noise is proportional to  $S^{1/2}$ . the fluctuation which the noise of the amplitude of a each primary component does to the Z direction of data since the average inclination of the curve about Z of the amplitude of a primary frequency component (it is hereafter sketched as a "primary component" suitably) is in inverse proportion to the depth of focus (DOF) -- Noise N -- then --  $N \propto S^{1/2}$  and  $DOF \propto \lambda \cdot S^{1/2} / (N.A.)^2$  .... (5)

There is \*\*\*\*\*. Here, N.A. is the numerical aperture of a projection optical system.

[0203] However, it is since there is relation between  $P \propto \lambda / N.A.$  when line breadth of an object pattern is set to P.  $S/N \propto (N.A.)^2$  and  $S^{1/2} / \lambda^{1/2} \propto \lambda^{1/2} \cdot S^{1/2} / P$  .... (6)

\*\*\*\*\* is realized. Here, S/N is a S/N ratio which is a ratio of the amplitude of a primary component, and the noise amplitude.

[0204] (2) When a dark noise is dominant, a dark noise is not dependent on the amplitude S of a primary component. Since the average inclination of the curve about Z of the amplitude of a primary component is in inverse proportion to DOF, if the noise of the amplitude of a each primary component makes Noise N fluctuation done to the Z direction of data  $N \propto DOF \propto \lambda / (N.A.)^2$  .... (7)

There is \*\*\*\*\*.

[0205] Therefore, line breadth of an object pattern is set to P.  $S/N \propto (N.A.)^2 \cdot S / \lambda^2$ , S/P .... (8)

There is \*\*\*\*\*.

[0206] If wavelength and an object-pattern pitch are determined in case slit width (2D) is made the more nearly optimal than (6) and (8) types, it turns out that a S/N ratio is proportional to the 0.5 - 1st power of the primary amplitude S with the property of a noise that what is necessary is just to pay its attention to the amplitude S of a primary component.

[0207] An example of the simulation result for asking drawing 28 (A) - drawing 31 (B) for the range where slit width (2D) is desirable is shown. Among these, drawing 28 (A), drawing 29 (A), drawing 30 (A), and drawing 31 (A) show the case of the conditions of  $N.A.=0.68$ ,  $\lambda=248\text{nm}$ , and  $\sigma=0.85$ . Moreover, drawing 28 (B), drawing 29 (B), drawing 30 (B), and drawing 31 (B) show the case of the conditions of  $N.A.=0.85$ ,  $\lambda=193\text{nm}$ , and  $\sigma=0.85$ .

[0208] Drawing 28 (A) and (B) show the S/N ratio about the focal detection at the time of applying (6) types supposing the example which used the photomultiplier. In drawing 28 (A), as a pattern for measurement, the line width of face L is 200nm, 220nm, and 250nm, respectively, and a continuous line (-), a broken line (\*\*), and a dotted line (\*\*) show the case where each duty ratio uses 50% of last shipment pattern, respectively. In drawing 28 (B), as a pattern for measurement, the line width of face L is 120nm, 130nm, and 140nm, respectively, and a continuous line (-), a broken line (\*\*), and a dotted line (\*\*) show the case where each duty ratio uses 50% of last shipment pattern, respectively.

[0209] Drawing 29 (A) and (B) show the contrast corresponding to drawing 28 (A) and (B), respectively. Contrast becomes so large that slit width is small. Since the zero-order amplitude is proportional to slit width, it is the first order (1st Order) which multiplied contrast by the ratio of the slit width on the basis of 0.3 micrometers. This is proportional to the amplitude of a primary component.

[0210] The first order corresponding to drawing 28 (A) and (B) is shown in drawing 30 (A) and (B), respectively.

[0211] Also in the case of line breadth [ which wavelength and ], it became clear from drawing 28 (A) and (B) that the same die length as the one half of a pattern pitch (=2L) of the optimal SURITSU \*\*\*\* (2D) for focal detection is the optimal as a result. Although it is so good that it is small about a pitch, it is indispensable that it is less than the resolution limit, of course. Therefore, the optimum value of slit width serves as one half extent of the resolution limit pitch of an aligner.

[0212] Drawing 31 (A) and (B) are the same conditions as drawing 28 (A) and (B), and show the S/N ratio



about the focal detection at the time of applying (8) types.

[0213] Here, optimization of slit width 2D is explained from still more nearly another viewpoint.

[0214] When width-of-face 2D of the slit of a space image measuring instrument and the intensity distribution of a space image are set to  $i(x)$ , slit transparency on-the-strength  $m(x)$  is expressed with the following (9) types which generalized (1) type mentioned above.

[0215]

[Equation 4]

$$m(x) = \int_{x-D}^{x+D} i(t) dt \quad \dots(9)$$

[0216] Focal detection is calculated from zero-order [ of the image of last shipment of the resolution limit on the strength ], and the primary ratio (contrast).  $b \cdot \sin(\omega_1 x)$  then the slit transparency reinforcement  $m_0(x)$  observed, and  $m_1(x)$  become like the following (10) and (11) types about the reinforcement of a and a primary component in the reinforcement of the zero-order component contained in the image of a space image on the strength. However,  $\omega_1$  is the spatial frequency of the resolution limit.

[0217]

[Equation 5]

$$m_0(x) = a \int_{x-D}^{x+D} dt = 2aD \quad \dots(10)$$

[0218]

[Equation 6]

$$m_1(x) = b \int_{x-D}^{x+D} \sin(\omega_1 t) dt = \frac{2b}{\omega_1} \sin(\omega_1 x) \cdot \sin(\omega_1 D) \quad \dots(11)$$

[0219] (10) More simply [ a zero-order component / slit width ] than a formula, proportionally, a primary component becomes max from (11) types, when satisfying the conditions of the following (12) types.

[0220]

$$\omega_1 D = \pi/2 - (2n-1) \dots (12)$$

(However,  $n=1, 2$  and  $3, \dots$ )

[0221] (12) When slit width 2D will be odd times  $\pi/\omega_1$ , it is desirable that it is odd times the one half (it is hereafter called the "minimum half pitch" suitably) of the minimum mark pitch at that from which the gain of a primary component serves as max at the time of odd times of  $D = \pi/(2\omega_1)$  when satisfying a formula (contrast serves as max).

[0222] Moreover, since the dynamic range of an electric system becomes easy so that the gain of a primary component is high and the gain of a zero-order component is low, the case where it is in agreement with the minimum half pitch by (12) formulas after all in the case of  $n=1$  (i.e., when slit width 2D is  $\pi/\omega_1$ ) if it puts in another way is best.

[0223] When slit width 2D is 1 time the minimum half pitch, the simulation data at the time of being 3 times is shown in drawing 32 (A) and (B), respectively. In these drawings, the curve LL 1 of a continuous line shows the signal of the slit transmitted light on the strength, an alternate long and short dash line LL 2 shows the differential signal, and a broken line LL 3 shows space image reinforcement. In these drawings, an axis of abscissa is a slit location and an axis of ordinate is signal strength.

[0224] When slit width 2D is 5 times the minimum half pitch, the simulation data at the time of being 7 times is shown in drawing 33 (A) and (B), respectively. In these drawings, the curve LL 1 of a continuous line shows the signal of the slit transmitted light on the strength, an alternate long and short dash line LL 2 shows the differential signal, and a broken line LL 3 shows space image reinforcement. In these drawings, an axis of abscissa is a slit location and an axis of ordinate is signal strength.

[0225] In drawing 32 (A), (B), and drawing 33 (A) and (B), it turns out that the amplitude of the differential signal LL 1 is the same amplitude. However, it turns out that a big dynamic range is needed with a signal-processing system (processor after a photosensor) as  $n$  of slit width  $2D = \text{minimum half pitch} \times n$  becomes large with 1, 3, 5, and 7. This shows that the case where slit width 2D is in agreement with the minimum

half pitch is best.

[0226] Moreover, if the Fourier transform of (1) and (2) types which were mentioned above is carried out, the frequency characteristics of the equalization effectiveness by the slit will become clear.

[0227]

[Equation 7]

$$p(u) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \cdot \exp(-2\pi i x u) dx = 2D \frac{\sin(2\pi u D)}{2\pi u D} = 2D \frac{\sin(\omega D)}{\omega D} \dots (13)$$

[0228] Frequency characteristics in case slit width 2D is 1 of the half pitch of the resolution limit and 3 or 5 times are shown in drawing 34, using spatial frequency of the resolution limit as omega 1. In this drawing 34, signs GF5, GF3, and GF1 show the frequency-characteristics diagram in the case of being 5 times of the minimum half pitch, 3 times, and 1 time the slit width of this, respectively. It turns out that the case (GF1) where slit width is in agreement with the minimum half pitch is best also in respect of the stability of gain (gain) so that clearly from this drawing 34.

[0229] << -- 2nd operation gestalt>> -- next, the 2nd operation gestalt of this invention is explained based on drawing 35 and drawing 36. Here, about a component the same as that of the aligner 100 concerning the 1st operation gestalt mentioned above, or equivalent, while using the same sign, the explanation shall be simplified or it shall omit.

[0230] A part of configuration of the aligner concerning this 2nd operation gestalt is omitted and shown in drawing 35. As for this aligner 110, only the configuration of the alignment optical system ALG 2 as a mark detection system is different from an aligner 100. Then, this point of difference is explained as a core below.

[0231] This alignment optical system ALG 2 is the laser scanning type alignment sensor of the off-axis method formed in the side face of a projection optical system PL, as shown in drawing 35.

[0232] This alignment optical system ALG 2 is constituted including the light source 132 for alignment, a half mirror 134, the 1st objective lens 136, the 2nd objective lens 138, and silicon photodiode (SPD) 140 grade, as shown in drawing 35. Here, He Ne laser is used as the light source 132. Under this alignment microscope ALG 2, as shown in drawing 35, a laser beam spot for a laser beam to illuminate the alignment mark Mw on Wafer W through a half mirror 134 and the 1st objective lens 136 from the light source 132 is formed. It is usually fixed and a laser beam carries out the relative scan of a laser beam and the alignment mark Mw by scanning the wafer stage WST (scan).

[0233] The scattered light generated from the alignment mark Mw is condensed and received on the silicon photodiode SPD 140 through the 1st objective lens 136, a half mirror 134, and the 2nd objective lens 138. The zero-order optical filter is inserted in the microscope ALG 2, it has become dark field, and the scattered light is detected only in the location where the alignment mark Mw exists. And the photo-electric-translation signal of the light which SPD140 received is supplied to a main control unit 20 from SPD140. In a main control unit 20, the coordinate location of the ally noodle \*\* mark Mw in the stage system of coordinates specified with an interferometer optical axis is computed based on this photo-electric-translation signal and the positional information of the wafer stage WST which is the output of the wafer interferometer 31 at that time.

[0234] The stability of the current beam position of laser, the stability of an interferometer, and the stability of the gain of an SPD - electrical-and-electric-equipment system determine the stability of such the base line of a stage scan type laser scanning type alignment sensor.

[0235] Here, measurement of the base line of this alignment microscope ALG 2 is explained. As a premise, Reticle R shall be carried on a reticle stage RST.

[0236] First, in a main control unit 20, the projection image of the reticle alignment mark PM formed on Reticle R is measured like the above-mentioned using the space image instrumentation 59, and it asks for the projection location of a reticle pattern image. That is, reticle alignment is performed.

[0237] Next, in a main control unit 20, as it moves on the wafer stage WST and is shown in drawing 36, the slit 22 of the space image measuring instrument 59 is scanned to a laser beam spot, the measurement value of the wafer interferometer 31 is incorporated to the signal on the strength and coincidence of the

transmitted light of a laser beam, a laser beam profile is obtained, and it asks for the location of the beam spot based on it. This asks for the relative position of base lines of the projection location of the pattern image of Reticle R, and the laser spot exposure location of the alignment optical system ALG 2, i.e., the amount of the alignment microscope ALG 2.

[0238] According to the aligner 110 concerning the operation gestalt of \*\*\*\* 2 explained above, effectiveness equivalent to the aligner 100 of the 1st operation gestalt mentioned above can be acquired. Moreover, although the amount of base lines of the alignment microscope ALG 2 is detected by the main control unit 20 also in this case using the space image instrumentation 59, since the projection location of a reticle pattern image and the location of the alignment microscope ALG 2 are directly measurable in detection of this amount of base lines with the space image instrumentation 59, measurement of the amount of base lines with a high precision is possible.

[0239] In addition, arrangement of the slit on the slit plate 90 of the space image measuring instrument 59 may add what [ not only ] was mentioned above but slits [ which are extended, respectively in the direction of the slits 22a and 22b mentioned above which, in addition, accomplishes 45 degrees and 135 degrees to the X-axis to construct as shown in drawing 37 (A) / 22c and 22d ] \*\*\*\*. Of course, slit width 2D of a direction vertical to a these slits [ 22c and 22d ] longitudinal direction is set to the same dimension by the same criteria as Slits 22a and 22b.

[0240] In this case, space image PM' shown, for example in drawing 37 (A), scanning the space image instrumentation 59 (wafer stage WST) in the direction of arrow-head C as shown in drawing 37 (A) By receiving and scanning slit 22d, the signal on the strength [ optical ] corresponding to that space image is detectable with a sufficient precision. Moreover, space image PM' shown, for example in drawing 37 (B), scanning the space image instrumentation 59 (wafer stage WST) in the direction of arrow-head D as shown in drawing 37 (B) By receiving and scanning slit 22c, the signal on the strength [ optical ] corresponding to the space image is detectable with a sufficient precision.

[0241] In addition, since the slit of these each class detaches to some extent and is arranged when preparing 2 sets of above-mentioned slits (22a, 22b), and (22c, 22d) on the slit plate 90, the configuration which can choose the slit of each class according to an optical or electric optional feature may be adopted as the light-receiving optical system inside wafer stage WST, and a configuration of a photosensor. With a shutter, an optical path may combine switchable light-receiving optical system and a single optoelectric transducer, and, specifically, light-receiving optical system and an optoelectric transducer may be prepared to the slit of each class, respectively.

[0242] Next, image recovery is explained.

[0243] It becomes clear in [ the equalization by the slit scan ] spatial frequency what kind of spectrum it is with the Fourier transform of  $p(x)$  from (1) and (2) types which were mentioned above. Generally this is called instrumental function  $P(u)$ . An instrumental function is shown by (13) types mentioned above.

[0244] (13) Filter  $P_{inv}(u)$  of the reverse property of the frequency characteristics of a formula is shown by the following (14) types, and image recovery will be performed, if an inverse Fourier transform is performed after taking advantaging of the Fourier spectrum of on the strength signal [ of a space image ]  $m(x)$  which has this observed.

$P_{inv}(u) = 1/P(u)$  -- (14)

Since the upper limits of the optical transfer function (OTF) of incoherent image formation are  $2N.A./\lambda$ , it is necessary to fill the following (15) types for perfect image recovery.

[0245]

[Equation 8]

$$D < \frac{\lambda}{4N.A.} \quad \dots(15)$$

[0246] If the technique of the above image recovery is used, the image profile of a very thin isolated line is also recoverable. The isolated line containing various frequency components, measuring the space image of an isolated line in two or more focuses, and measuring the wave aberration of a lens using these is also considered.

[0247] Moreover, measuring the wave aberration of the discrete frequency component of a lens is also

considered by carrying out image recovery of the last shipment mark which is a repeat pattern.

[0248] It is desirable to use for space image measurement for measurement of such wave aberration the space image measuring instrument 59 which can measure the space image about four directions shown in drawing 37 (A).

[0249] In addition, although each above-mentioned operation gestalt explained the case where this invention was applied to the projection aligner of step - and - scanning method, while imprinting the pattern of a mask to a substrate in the condition of having stood still not only this but the mask, and the substrate, this invention is applicable also to the aligner of the step-and-repeat mold which carries out step migration of the substrate one by one.

[0250] Moreover, although each above-mentioned operation gestalt explained the case where this invention was applied to the aligner for semi-conductor manufacture, this invention is widely applicable to the aligner for the liquid crystal which imprints a liquid crystal display component pattern on the glass plate of not only this but a square shape, the aligner for manufacturing a thin film magnetic head, etc.

[0251] Moreover, although each above-mentioned operation gestalt explained the case where KrF excimer laser light (248nm), ArF excimer laser light (193nm), etc. were used as illumination light for exposure, the higher harmonic of not only this but a g line (436nm), i line (365nm), F2 laser beam (157nm), copper steamy laser, and an YAG laser etc. can be used as illumination light for exposure.

[0252] Moreover, although each above-mentioned operation gestalt explained the case where a cutback system was used as a projection optical system, actual size or an amplification system may be used not only as this but as a projection optical system.

[0253] Moreover, when using a linear motor (refer to the official report of U.S. Pat. No. 5,623,853 or U.S. Pat. No. 5,528,118) for a wafer stage or a reticle stage, whichever of the magnetic levitation mold using the air floatation mold and the Lorentz force, or the reactance force which air \*\* ARINGU was used may be used.

[0254] Moreover, TAIBU which moves along with a guide is sufficient as a stage, and the guide loess type which does not prepare a guide is sufficient as it.

[0255] The reaction force generated by migration of a wafer stage may be mechanically missed to the floor (earth) using a frame member as indicated by JP,8-166475,A (United States patent 5th, 528, 118 No.).

[0256] The reaction force generated by migration of a reticle stage may be mechanically missed to the floor (earth) using a frame member as indicated by JP,8-330224,A (United States patent application serial number No. 416558).

[0257] While including the illumination-light study system and projection optical system which consist of two or more lenses in the body of an aligner and carrying out optical adjustment, the reticle stage and wafer stage which consist of many machine parts can be attach in the body of an aligner, wiring and piping can be connect, and the aligner of this operation gestalt can be manufacture by carrying out comprehensive adjustments ( electric adjustment, check of operation, etc.) further. In addition, as for manufacture of an aligner, it is desirable to carry out in the clean room where temperature, an air cleanliness class, etc. were managed.

[0258] A semiconductor device is manufactured through the step which performs the function and engine-performance design of a device, the step which manufactures the reticle based on this design step, the step which manufactures a wafer from a silicon ingredient, the step which imprints the pattern of reticle to a wafer with the aligner of the operation gestalt mentioned above, a device assembly step (a dicing process, a bonding process, and a package process are included), an inspection step, etc.

[0259]

[Effect of the Invention] As explained above, according to the space image measurement approach and space image metering device concerning this invention, it is effective in a space image being measurable in sufficient precision.

[0260] Moreover, according to the image formation property measurement approach concerning this invention, there is outstanding effectiveness which is not in the former that the image formation property of a projection optical system is measurable with a sufficient precision.

[0261] Moreover, according to the aligner concerning this invention, it is effective in the ability to aim at improvement in exposure precision.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

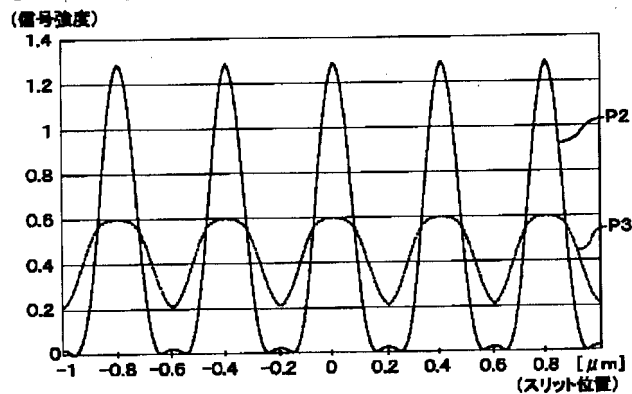
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

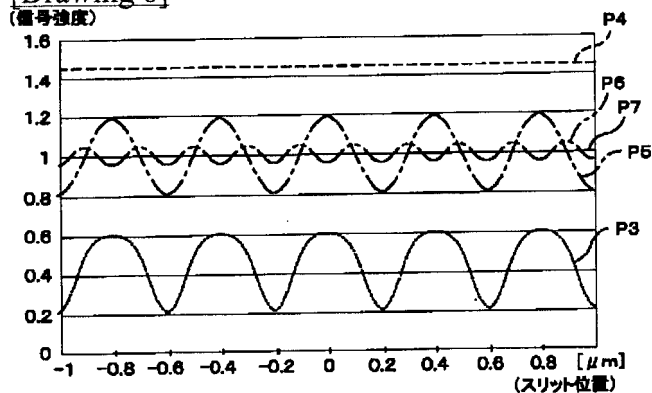
DRAWINGS

---

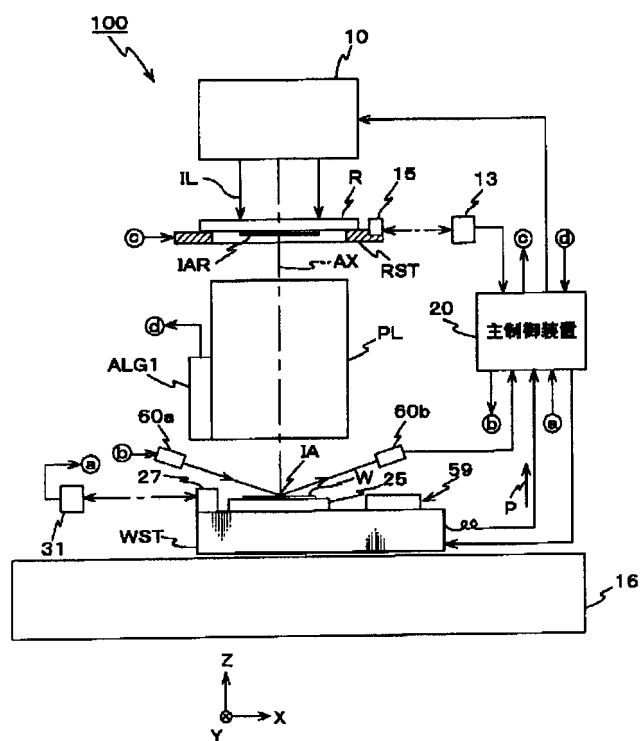
[Drawing 7]



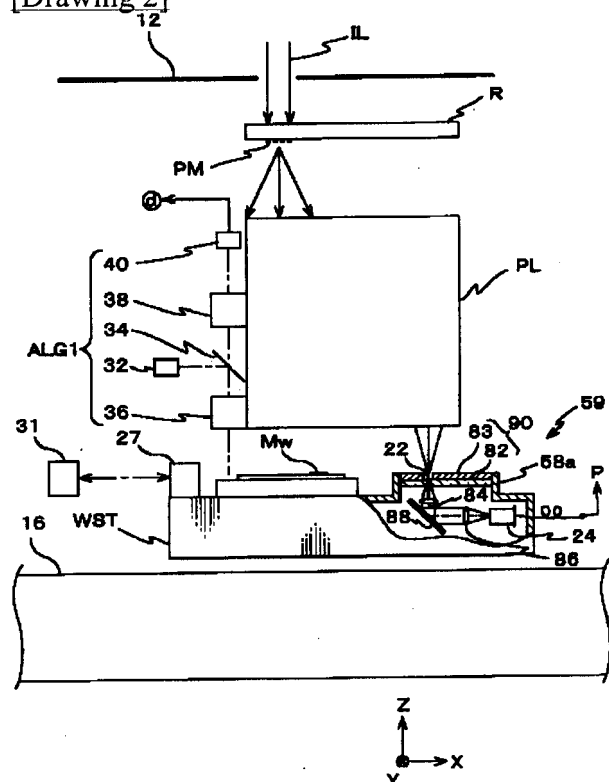
[Drawing 8]



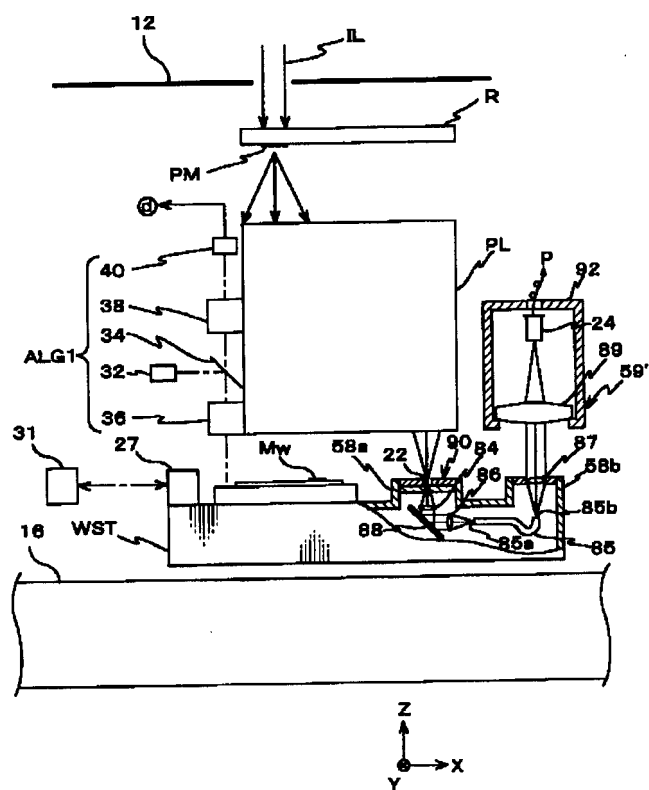
[Drawing 1]



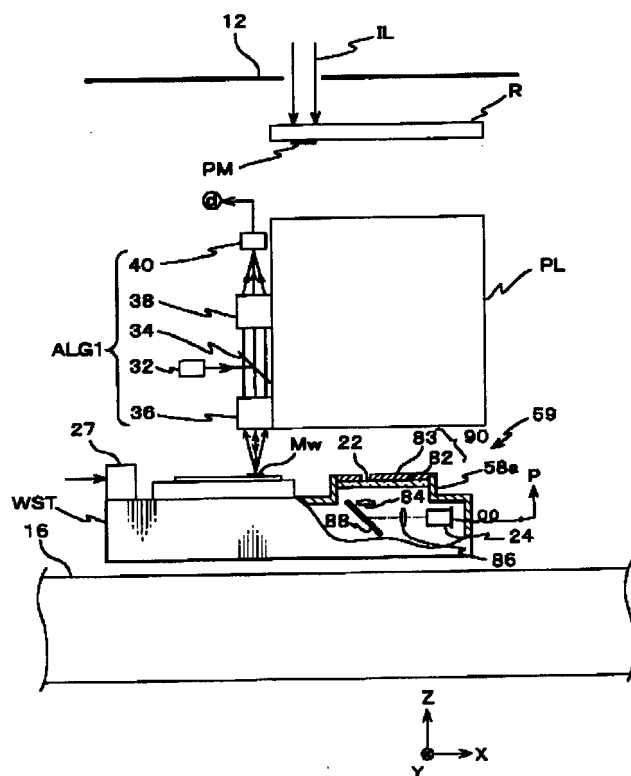
[Drawing 2]



[Drawing 3]

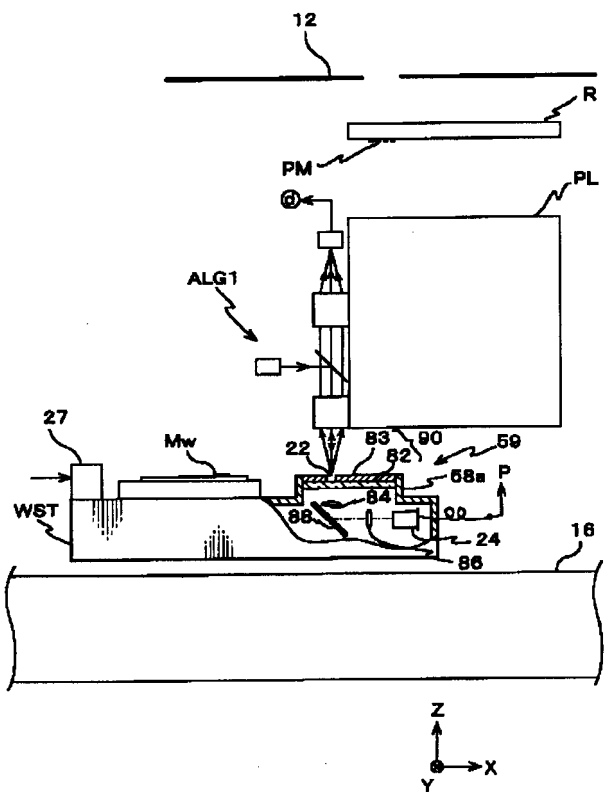


[Drawing 4]

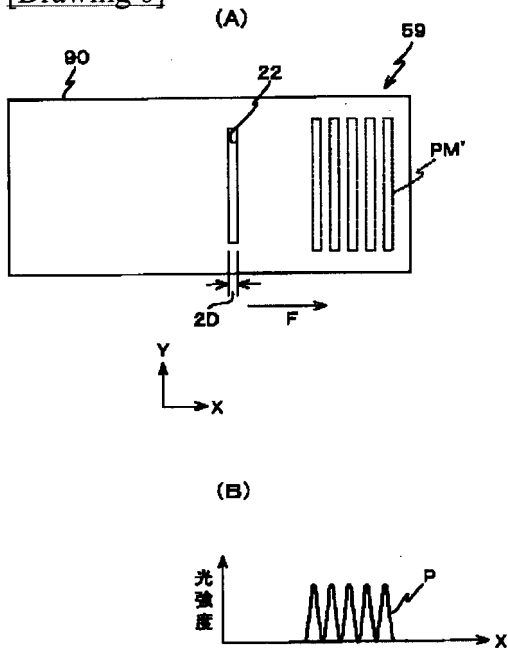


[Drawing 5]

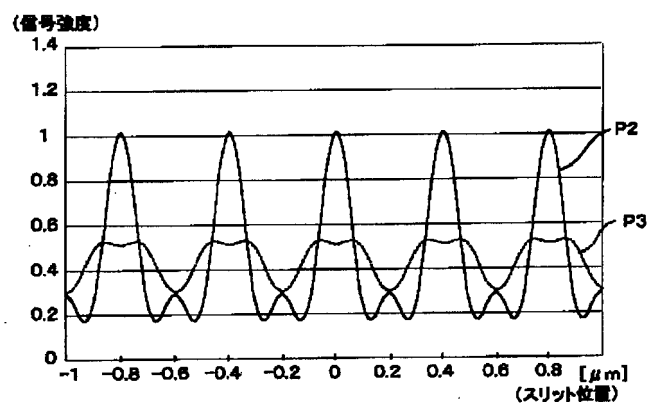




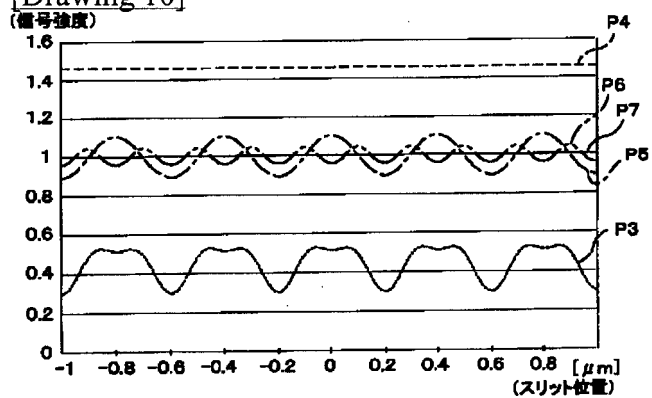
[Drawing 6]



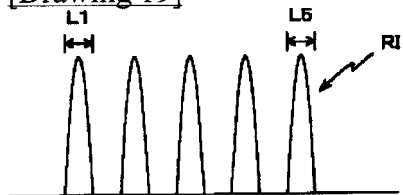
[Drawing 9]



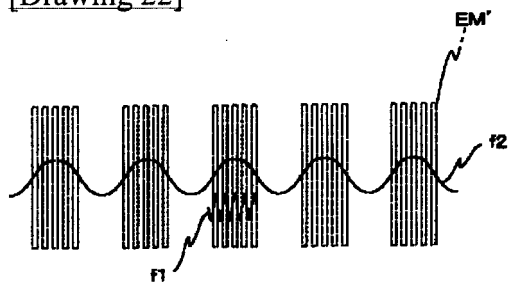
[Drawing 10]



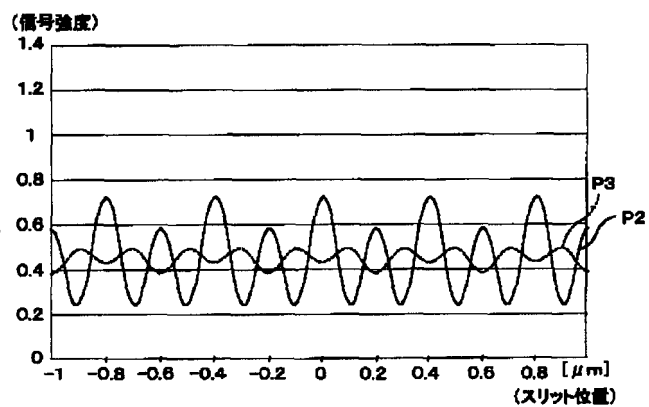
[Drawing 19]



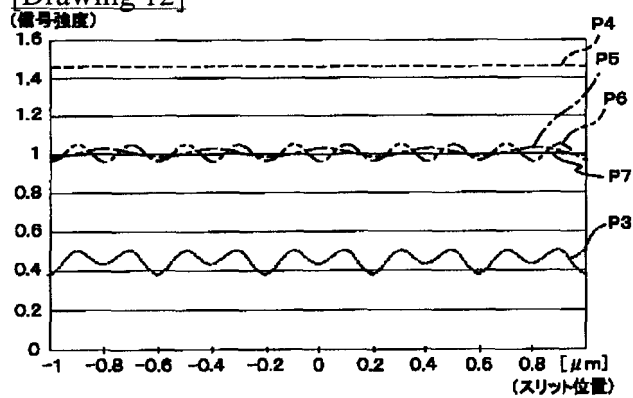
[Drawing 22]



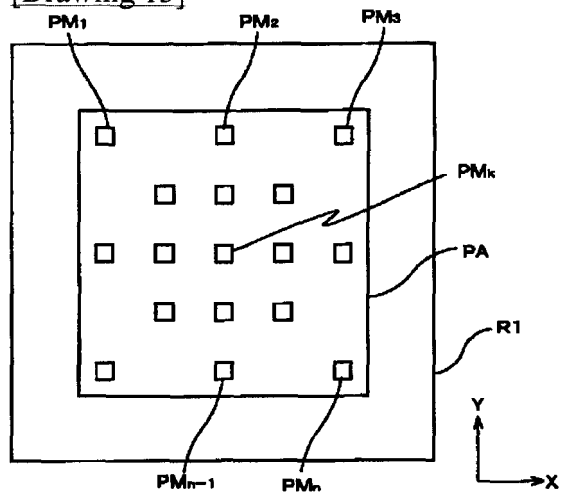
[Drawing 11]



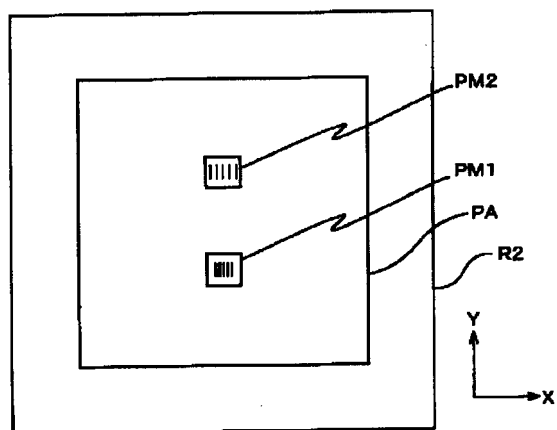
[Drawing 12]



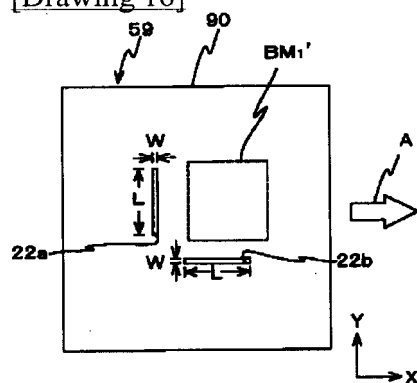
[Drawing 13]



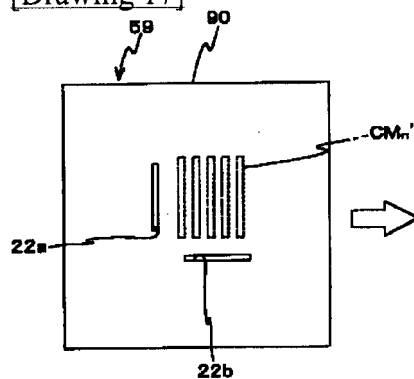
[Drawing 14]



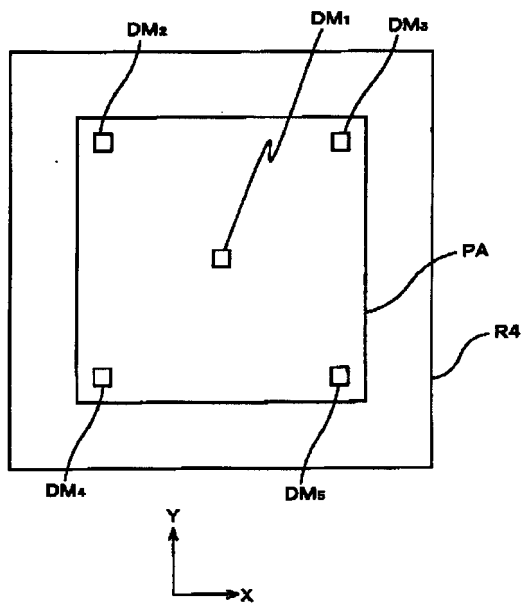
[Drawing 16]



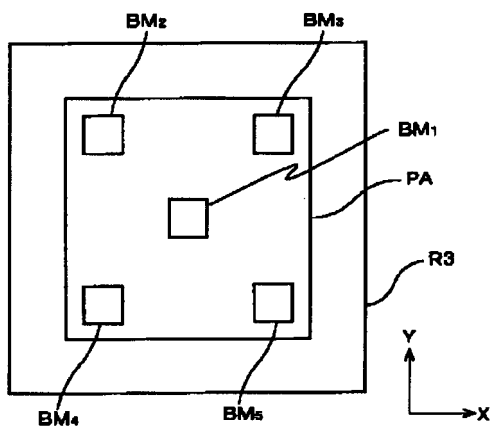
[Drawing 17]



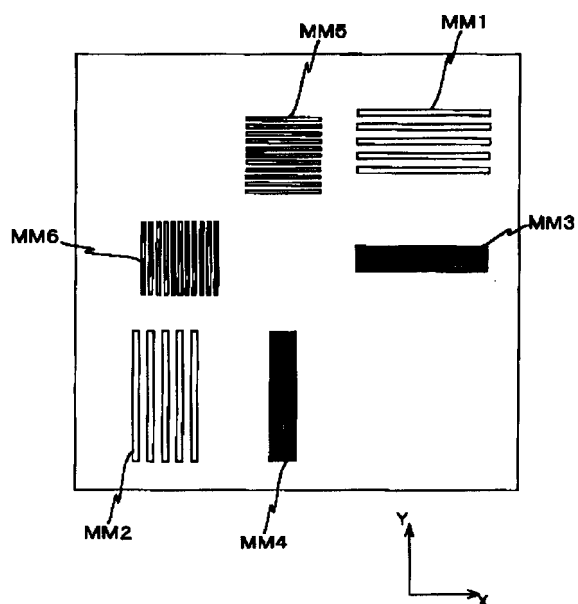
[Drawing 20]



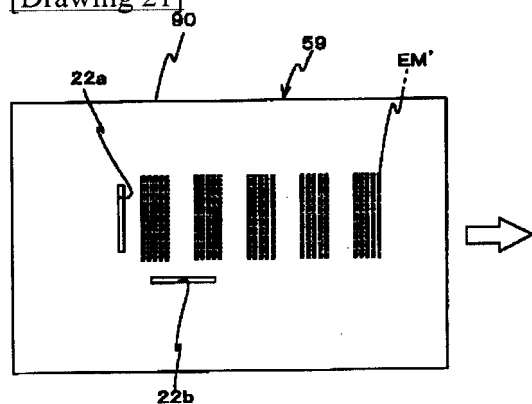
[Drawing 15]



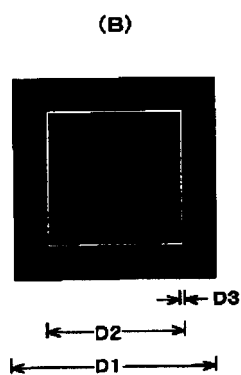
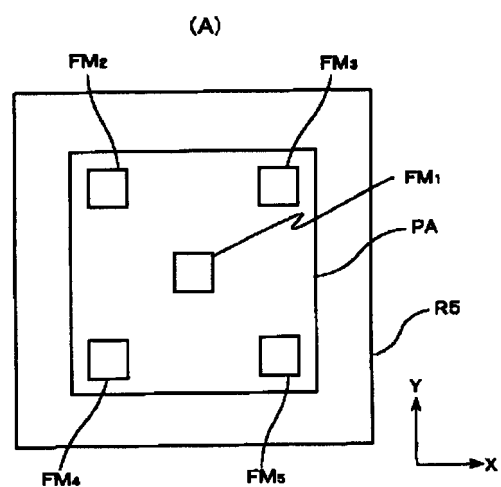
[Drawing 18]



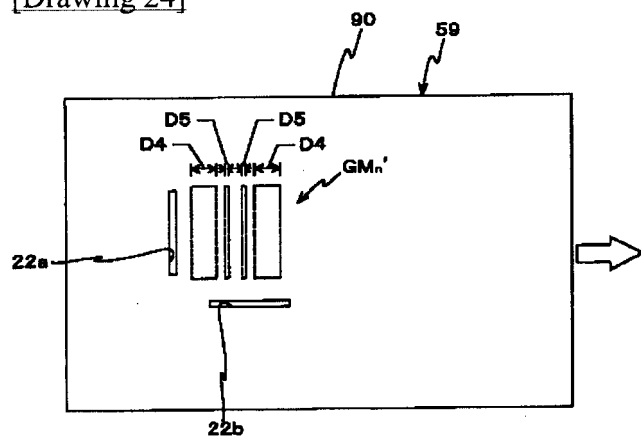
[Drawing 21]



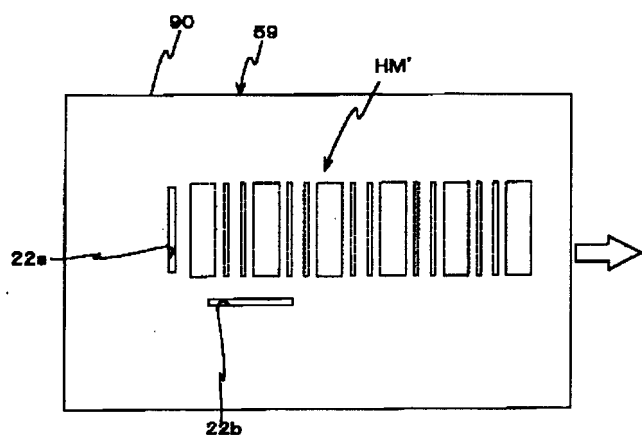
[Drawing 23]



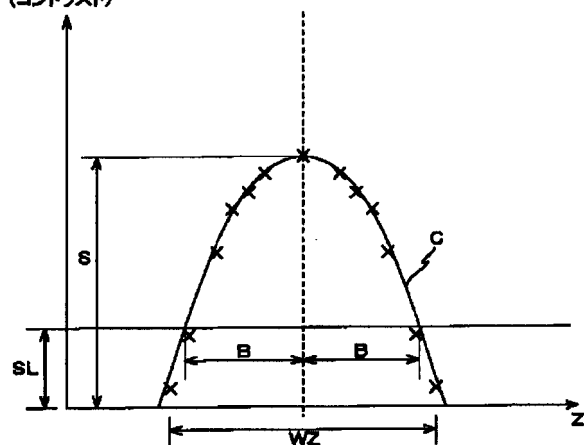
[Drawing 24]



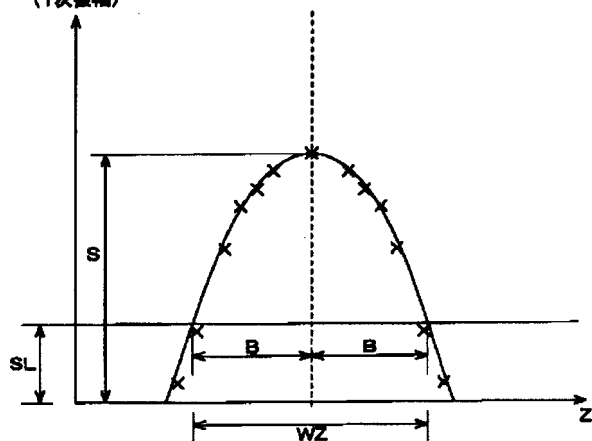
[Drawing 25]



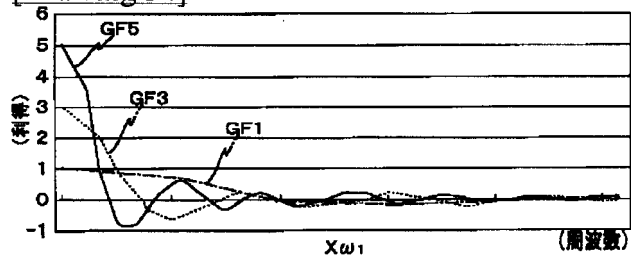
[Drawing 26]  
(コントラスト)



[Drawing 27]  
(1次振幅)

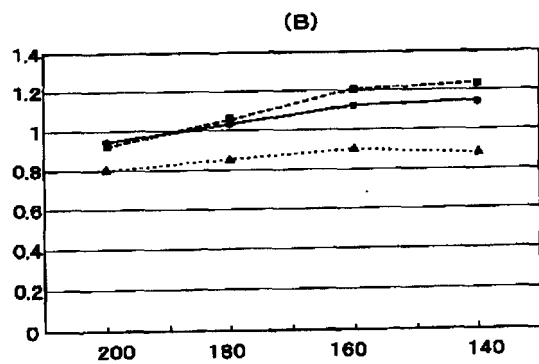
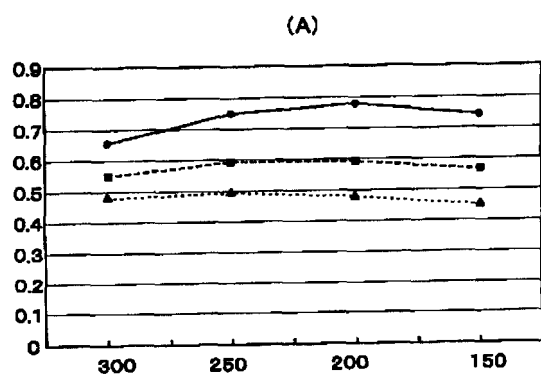


[Drawing 34]

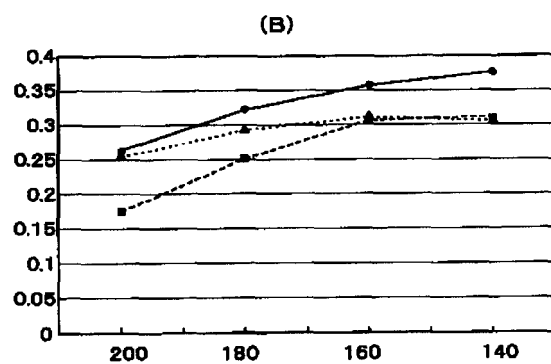
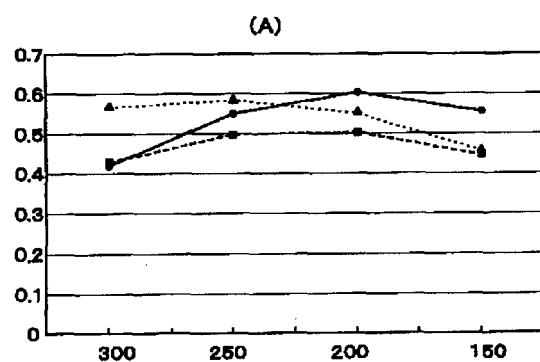


[Drawing 28]

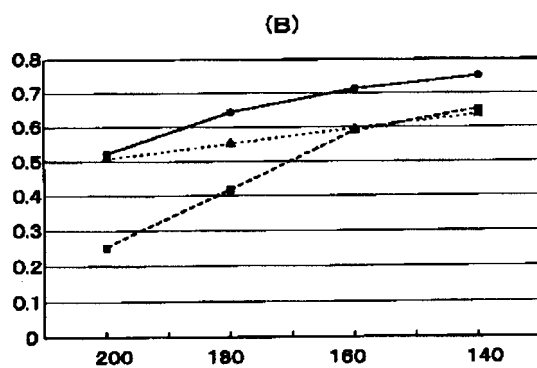
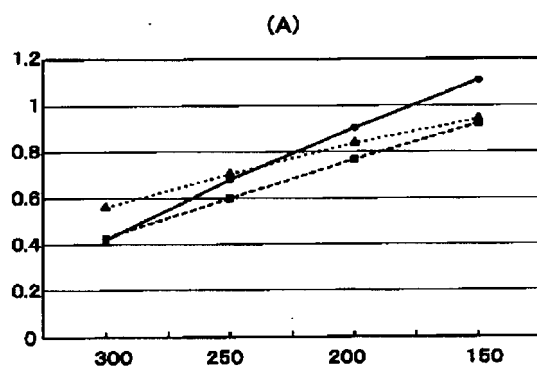




[Drawing 29]

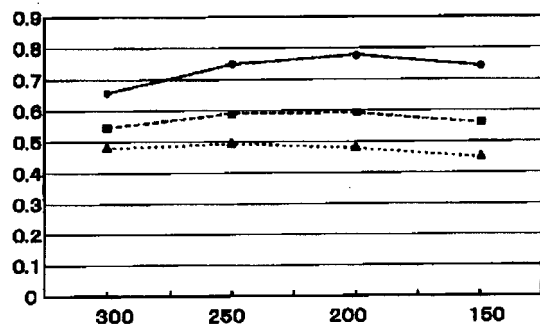


[Drawing 30]

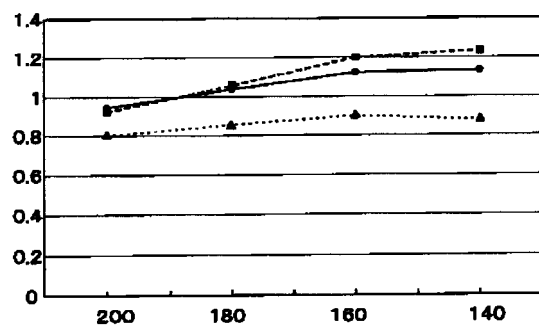


[Drawing 31]

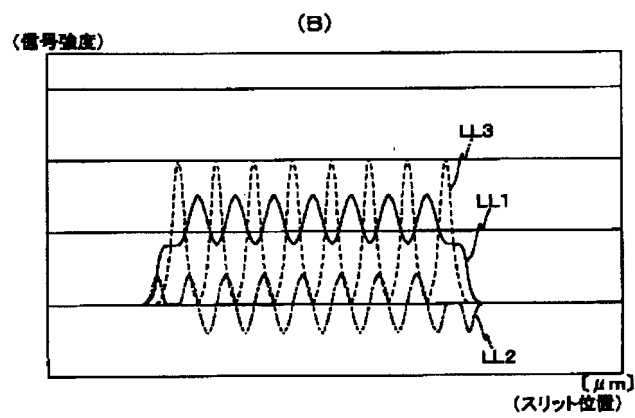
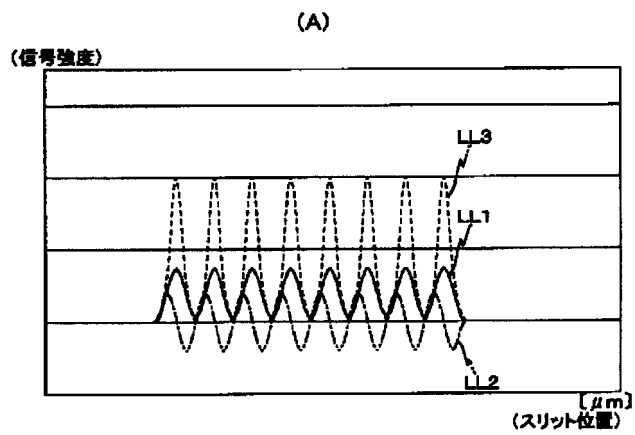
(A)



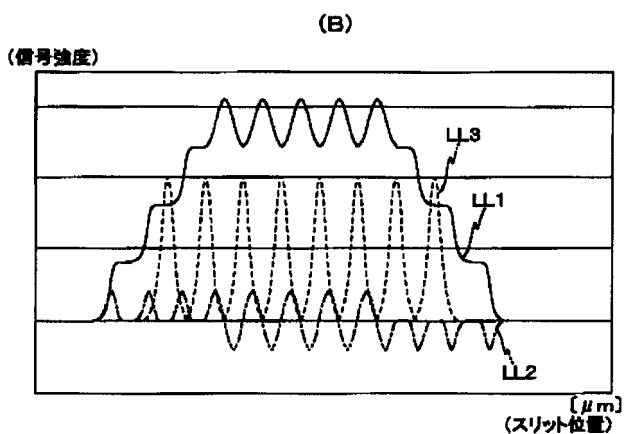
(B)



[Drawing 32]



[Drawing 33]



Drawing 33

110

12

PM

R

ALG2

140

138

134

132

136

27

W

PL

5B

WST

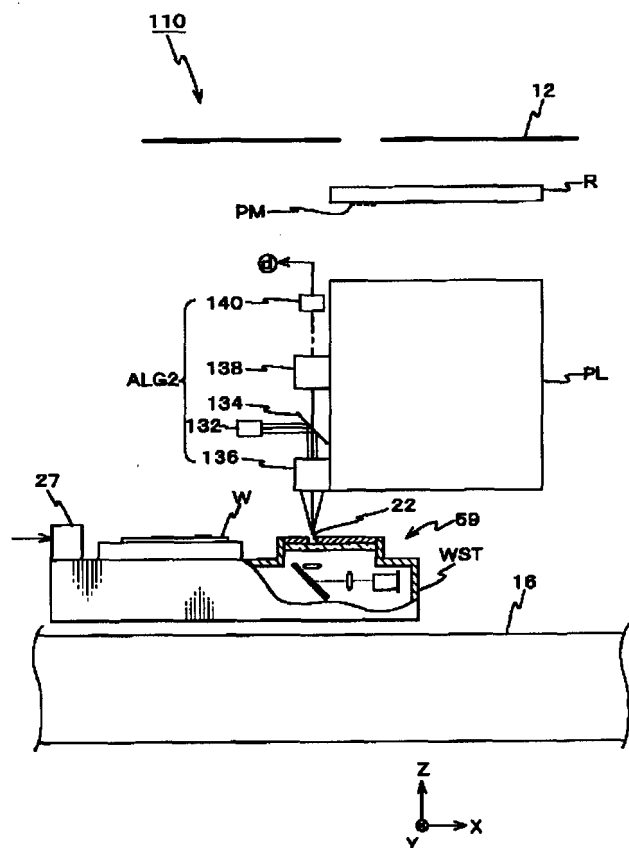
16

Z

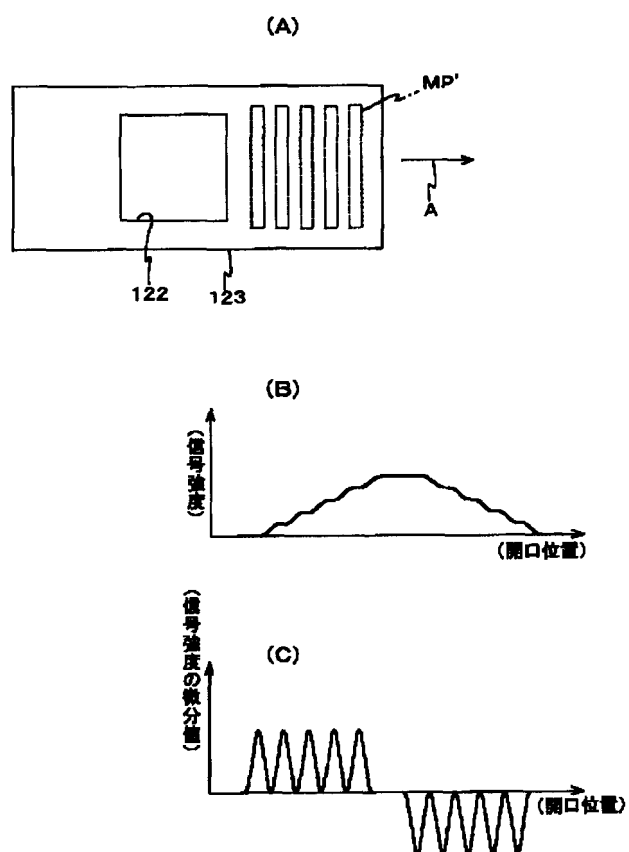
X

Y

[Drawing 36]

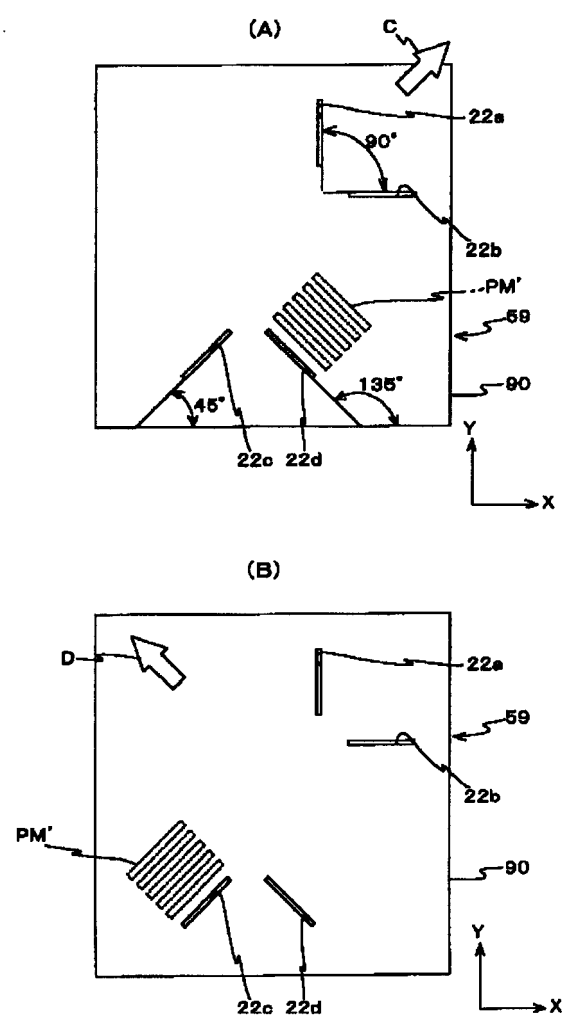


[Drawing 38]



[Drawing 37]





[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2002-14005  
(P2002-14005A)

(43)公開日 平成14年1月18日(2002.1.18)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
G 0 1 M 11/02		G 0 1 M 11/02	A 2 F 0 6 5
			B 2 G 0 8 6
G 0 1 B 11/00		G 0 1 B 11/00	C 5 F 0 4 6
			B
			Z

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 36 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2000-216868(P2000-216868)	(71)出願人	000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(22)出願日	平成12年7月18日(2000.7.18)	(72)発明者	萩原 恒幸 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内
(31)優先権主張番号	特願2000-123553(P2000-123553)	(74)代理人	100102901 弁理士 立石 篤司
(32)優先日	平成12年4月25日(2000.4.25)		
(33)優先権主張国	日本(J P)		

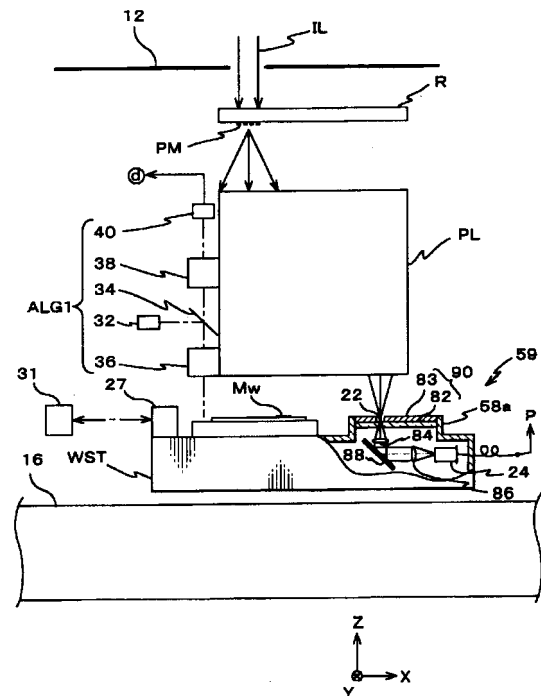
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 空間像計測方法、結像特性計測方法、空間像計測装置及び露光装置

(57)【要約】

【課題】 十分な精度で空間像を計測することを可能にする。

【解決手段】 空間像計測器59のスリット板90には、計測方向(X軸方向)の幅が(波長 $\lambda$ /投影光学系の開口数N. A.)以下でY軸方向に伸びるスリット22が形成されている。このため、照明光ILによって所定のパターンPMが照明され、該パターンの空間像が投影光学系PLを介して像面上に形成された状態で、上記空間像に対してスリット板90がX軸方向に走査されると、その走査中にスリット22を透過した光が光電変換素子24で光電変換され、その光電変換信号(空間像の光強度に対応する信号)が出力される。そして、この光電変換信号に基づいて制御装置により空間像に対応する光強度分布が計測される。この場合、スリット22の幅が( $\lambda$ /N. A.)以下とされているため、実用上十分な、高い精度で空間像を計測することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 投影光学系によって形成される所定のパターンの空間像を計測する空間像計測方法であって、照明光によって前記パターンを照明し、該パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成する工程と；前記投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びるとともに、これに垂直な前記2次元平面内の第2方向の幅が前記照明光の波長 $\lambda$ を考慮して定められた少なくとも1つのスリットを有するスリット板を前記像面近傍の前記2次元平面内で前記第2方向に走査するとともに、前記スリットを透過した前記照明光を光電変換して前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る工程と；を含む空間像計測方法。

【請求項2】 投影光学系によって形成される所定のパターンの空間像を計測する空間像計測方法であって、照明光によって前記パターンを照明し、該パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成する工程と；前記投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びるとともに、これに垂直な前記2次元平面内の第2方向の幅が前記投影光学系の開口数 $N.A.$ を考慮して定められた少なくとも1つのスリットを有するスリット板を前記像面近傍の前記2次元平面内で前記第2方向に走査するとともに、前記スリットを透過した前記照明光を光電変換して前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る工程と；を含む空間像計測方法。

【請求項3】 前記スリットの前記第2方向の幅は、零より大きく前記照明光の波長 $\lambda$ を前記投影光学系の開口数 $N.A.$ で除した $(\lambda/N.A.)$ 以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の空間像計測方法。

【請求項4】 前記スリットの前記第2方向の幅は、前記 $(\lambda/N.A.)$ の0.8倍以下であることを特徴とする請求項3に記載の空間像計測方法。

【請求項5】 前記スリットの前記第2方向の幅は、前記照明光及び前記パターンの種別を含む照明条件によって定まる解像限界のラインアンドスペースパターンのピッチである最小ピッチの半分の奇数倍であることを特徴とする請求項1又は2に記載の空間像計測方法。

【請求項6】 前記スリットの前記第2方向の幅は、前記照明光の波長を $\lambda$ 、前記投影光学系の開口数を $N.A.$ として、 $\{\lambda/(2N.A.)\}$ の奇数倍として規定されることを特徴とする請求項1又は2に記載の空間像計測方法。

【請求項7】 前記光電変換信号をフーリエ変換して空間周波数分布を求め、該求めた空間周波数分布を前記スリットの既知の周波数スペクトルで割り返して元の空間像のスペクトル分布に変換し、該スペクトル分布を逆フーリエ変換することにより元の空間像を回復する工程を更に含むことを特徴とする請求項1～6のいずれか一項

に記載の空間像計測方法。

【請求項8】 投影光学系の結像特性を計測する結像特性計測方法であって、

照明光によって所定のパターンを照明し、該パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成する工程と；前記投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びる所定幅のスリットを少なくとも1つ有するスリット板を前記像面近傍の前記2次元平面内で前記第1方向に垂直な第2方向に走査するとともに、前記スリットを透過した前記照明光を光電変換して前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る工程と；前記光電変換信号に所定の処理を施して前記投影光学系の結像特性を求める工程と；を含む結像特性計測方法。

【請求項9】 前記パターンは、第2方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンであり、前記光電変換信号の検出を、前記スリット板の前記光軸方向の位置を変化させつつ複数回繰り返し、

前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号をそれぞれフーリエ変換し、それぞれの1次周波数成分と零次周波数成分の振幅比であるコントラストを求め、該コントラストが最大となる光電変換信号に対応する前記光軸方向の位置を検出することにより前記投影光学系のベストフォーカス位置を検出することを特徴とする請求項8に記載の結像特性計測方法。

【請求項10】 前記ベストフォーカス位置の検出を、前記投影光学系の光軸からの距離が異なる複数点に関して繰り返し行うことにより、前記投影光学系の像面形状を検出する工程を更に含むことを特徴とする請求項9に記載の結像特性計測方法。

【請求項11】 前記投影光学系の光軸における前記ベストフォーカス位置の検出を、異なるピッチの複数の前記ラインアンドスペースパターンについて繰り返し行い、前記各パターンに対応する前記ベストフォーカス位置の差に基づいて前記投影光学系の球面収差を求める工程を更に含むことを特徴とする請求項9に記載の結像特性計測方法。

【請求項12】 前記パターンは、前記第2方向の幅が前記スリットの前記第2方向の幅より大きい矩形パターンを少なくとも1つ含むパターンであり、前記空間像の形成と前記光電変換信号の検出とを、前記投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影される前記パターンの空間像について繰り返し行い、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号それぞれの位相を検出し、該位相検出の結果に基づいて前記各光電変換信号に対応する空間像の位置をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることを特徴とする請求項8に記載の結像特性計

測方法。

【請求項 13】 前記パターンは、前記第 2 方向の幅が前記スリットの前記第 2 方向の幅より大きい矩形パターンを少なくとも 1 つ含むパターンであり、前記空間像の形成と前記光電変換信号の検出とを、前記投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影される前記パターンの空間像について繰り返し行い、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号それぞれと所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記各光電変換信号に対応する空間像の位置をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることを特徴とする請求項 8 に記載の結像特性計測方法。

【請求項 14】 前記パターンは、全体として矩形状で、前記第 1 方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンであることを特徴とする請求項 8 に記載の結像特性計測方法。

【請求項 15】 前記空間像の形成と前記光電変換信号の検出とを、前記投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影される前記パターンの空間像について繰り返し行い、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号それぞれと所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記各光電変換信号に対応する空間像の位置をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることを特徴とする請求項 14 に記載の結像特性計測方法。

【請求項 16】 前記パターンは、前記第 2 方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンであり、前記所定の処理として、前記光電変換信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記各ラインパターンの線幅異常値を算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることを特徴とする請求項 8 に記載の結像特性計測方法。

【請求項 17】 前記パターンは、前記第 2 方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンであり、前記所定の処理として、前記光電変換信号の前記各ラインパターンのピッチに対応する第 1 基本周波数成分と、前記ラインアンドスペースパターンの全体の幅に対応する第 2 周波数成分との位相差を算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることを特徴とする請求項 8 に記載の結像特性計測方法。

【請求項 18】 前記パターンは、前記第 2 方向に対応する方向に所定間隔で配置された線幅の異なる少なくとも 2 種類のラインパターンを有する対称マークパターンであり、

前記所定の処理として、前記光電変換信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記パターンの空間像の対称性のずれを算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることを特徴とする請求項 8 に記載の結像特性計測方法。

【請求項 19】 投影光学系によって形成される所定のパターンの空間像を計測する空間像計測装置であって、前記パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成するため、前記パターンを照明する照明装置と；前記投影光学系の光軸に垂直な 2 次元平面内で第 1 方向に延びるとともに、これに垂直な第 2 方向の幅が零より大きく前記照明光の波長  $\lambda$  を前記投影光学系の開口数  $N.A.$  で除した ( $\lambda/N.A.$ ) 以下である、少なくとも 1 つのスリットを有するスリット板と；前記スリット板を透過した前記照明光を光電変換して、前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を出力する光電変換素子と；前記照明装置により前記パターンが照明され、前記像面上に前記空間像が形成された状態で、前記像面近傍の前記 2 次元平面内で前記スリット板を前記第 2 方向に走査するとともに、前記光電変換素子からの光電変換信号に基づいて前記空間像に対応する光強度分布を計測する処理装置と；を備える空間像計測装置。

【請求項 20】 マスクに形成された回路パターンを投影光学系を介して基板に転写する露光装置であって、前記基板を保持する基板ステージと；前記スリット板が前記基板ステージと一体で移動可能に構成された請求項 19 に記載の空間像計測装置とを備える露光装置。

【請求項 21】 前記空間像計測装置を用いて、種々のマークパターンの空間像に対応する光強度分布を計測し、その計測された前記光強度分布のデータに基づいて前記投影光学系の結像特性を求める制御装置を更に備えることを特徴とする請求項 20 に記載の露光装置。

【請求項 22】 前記基板ステージ上のマークの位置を検出するマーク検出系と；前記空間像計測装置を用いて、前記投影光学系による前記マスクのパターンの投影位置と前記マーク検出系との相対位置関係を検出する制御装置を更に備えることを特徴とする請求項 20 に記載の露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、空間像計測方法、結像特性計測方法、空間像計測装置及び露光装置に係り、更に詳しくは、投影光学系より像面に形成される空間像を計測する空間像計測方法、該空間像計測方法を利用して投影光学系の結像特性を計測する結像特性計測方法、前記空間像計測方法を実行するための空間像計測装置、及び該空間像計測装置を備える露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、半導体素子又は液晶表示素子

等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に、フォトマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターンを、投影光学系を介して表面にフォトレジスト等の感光剤が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板上に転写する投影露光装置、例えばステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）や、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ）等が用いられている。

【0003】ところで、半導体素子等を製造する場合には、異なる回路パターンを基板上に幾層にも積み重ねて形成する必要があるため、回路パターンが描画されたレチクルと、基板上の各ショット領域に既に形成されたパターンとを正確に重ね合わせることが重要である。かかる重ね合わせを精度良く行うためには、投影光学系の結像特性が所望の状態に調整されることが必要不可欠である。

【0004】この投影光学系の結像特性の調整の前提として、結像特性を正確に計測する必要がある。この結像特性の計測方法として、所定の計測用パターンが形成された計測用マスクを用いて露光を行い、計測用パターンの投影像が転写形成された基板を現像して得られるレジスト像を計測した計測結果に基づいて結像特性を算出する方法（以下、「焼き付け法」と呼ぶ）が、主として用いられている。この他、実際に露光を行うことなく、計測用マスクを照明光により照明し投影光学系によって形成された計測用パターンの空間像（投影像）を計測し、この計測結果に基づいて結像特性を算出する方法（以下、「空間像計測法」と呼ぶ）も行われている。

【0005】従来の空間像計測は、概ね次のようにして行われていた。すなわち、例えば図38（A）に示されるように、正方形開口122が形成された開口板123を基板ステージ上に設置し、不図示の投影光学系によって形成された計測用レチクル上の計測用パターンの空間像MP'に対して、基板ステージを介して開口板123を矢印Aの方向に走査し、開口122を透過した照明光を光電変換素子によって受光して光電変換する。この光電変換により、図38（B）に示されるような光電変換信号（空間像に対応する光強度信号）が得られる。次に、この図38（B）に示されるような光電変換信号の波形を走査方向に対して微分することで図38（C）に示されるような微分波形を求める。そして、この図38（C）に示されるような微分波形に基づいてフーリエ変換法などの公知の所定の信号処理を施し、計測マークが投影された光学像（空間像）を求める。

【0006】かかる空間像の計測及びこれに基づく投影光学系のディストーション等の検出については、例えば、特開平10-209031号公報等などに詳細に開示されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の空間像計測方法にあつては、大きな開口を走査させて空間像強度を計測していたことから、図38（B）に示されるように、空間像のプロファイルの特徴付けする空間周波数成分以外に大きな低周波成分が混在する結果となってしまう。この一方、後段の信号処理系のダイナミックレンジには限りがあり、また、信号処理系のダイナミックレンジに対する分解能（例えば、現状では16ビット程度）が限られていることから、結果的に、空間像のプロファイルを反映した信号成分のS/N比が小さくならざるを得なかった。このため、ノイズに弱く、空間像から空間像強度信号に変換する際に像プロファイルの劣化が大きくなってしまい、十分な精度で空間像を計測することが困難であった。

【0008】この他、従来においても、主としてパターンの結像位置の検出を目的として、スリットをパターンの空間像に対して走査する装置が、例えば特開昭58-7823号などに開示されている。しかし、該公報に開示される装置では、スリット幅は、マスクパターン（基準パターン）の形状に対応して決定されていた。このため、種々の形状（大きさを含む）のパターンの空間像を正確に計測することは困難であった。

【0009】本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、十分な精度で空間像を計測することができる空間像計測方法及び空間像計測装置を提供することにある。

【0010】また、本発明の第2の目的は、投影光学系の結像特性を精度良く計測することができる結像特性計測方法を提供することにある。

【0011】また、本発明の第3の目的は、露光精度の向上を図ることができる露光装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】一般に、露光装置に備えられる投影光学系の解像度（解像力）Rは、Rayleighの式で良く知られているように、 $R = k \times \lambda / N.A.$  の関係（ $\lambda$ は照明光の波長、N.A.は投影光学系の開口数、kはレジストの解像力の他にプロセスによって決定される定数（プロセス係数）である）で表される。そこで、発明者は、かかる点に着目して、種々の実験等を行った結果、空間像計測に用いられる開口の走査方向の幅を、照明光の波長 $\lambda$ 、投影光学系の開口数N.A.との少なくとも一方を考慮して定めることにより、空間像計測において良好な結果が得られることが判明した。本発明に係る空間像計測方法は、かかる発明者の得た新規知見に基づいてなされたものである。

【0013】請求項1に記載の発明は、投影光学系（PL）によって形成される所定のパターンの空間像を計測する空間像計測方法であつて、照明光（IL）によって前記パターンを照明し、該パターンの空間像を前記投影

光学系を介して像面上に形成する工程と；前記投影光学系の光軸に垂直な 2 次元平面内で第 1 方向に延びるとともに、これに垂直な前記 2 次元平面内の第 2 方向の幅が前記照明光の波長  $\lambda$  を考慮して定められた少なくとも 1 つのスリットを有するスリット板（90）を前記像面近傍の前記 2 次元平面内で前記第 2 方向に走査するとともに、前記スリットを透過した前記照明光を光電変換して前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る工程と；を含む。

【0014】これによれば、照明光によって所定のパターンを照明し、該パターンの空間像を投影光学系を介して像面上に形成する。そして、この空間像に対して投影光学系の光軸に垂直な 2 次元平面内で第 1 方向に延びるとともに、これに垂直な前記 2 次元平面内の第 2 方向の幅が照明光の波長  $\lambda$  を考慮して定められた少なくとも 1 つのスリットを有するスリット板を像面近傍の前記 2 次元平面内で第 2 方向に走査するとともに、スリットを透過した照明光を光電変換してスリットを透過した照明光の強度に応じた光電変換信号を得る。そして、この光電変換信号に所定の処理を施すことにより、空間像（像強度の分布）を得ることができる。

【0015】すなわち、スリットスキャン方式により、所定パターンの空間像を得ることができる。この場合、スリットの走査方向の幅が照明光の波長を考慮して定められているので、十分な精度で空間像を計測することが可能となる。

【0016】請求項 2 に記載の発明は、投影光学系によって形成される所定のパターンの空間像を計測する空間像計測方法であって、照明光によって前記パターンを照明し、該パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成する工程と；前記投影光学系の光軸に垂直な 2 次元平面内で第 1 方向に延びるとともに、これに垂直な前記 2 次元平面内の第 2 方向の幅が前記投影光学系の開口数  $N.A.$  を考慮して定められた少なくとも 1 つのスリットを有するスリット板を前記像面近傍の前記 2 次元平面内で前記第 2 方向に走査するとともに、前記スリットを透過した前記照明光を光電変換して前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る工程と；を含む。

【0017】これによれば、照明光によって所定のパターンを照明し、該パターンの空間像を投影光学系を介して像面上に形成する。そして、この空間像に対して投影光学系の光軸に垂直な 2 次元平面内で第 1 方向に延びるとともに、これに垂直な前記 2 次元平面内の第 2 方向の幅が投影光学系の開口数  $N.A.$  を考慮して定められた少なくとも 1 つのスリットを有するスリット板を像面近傍の前記 2 次元平面内で第 2 方向に走査するとともに、スリットを透過した照明光を光電変換してスリットを透過した照明光の強度に応じた光電変換信号を得る。そして、この光電変換信号に所定の処理を施すことにより、

空間像（像強度の分布）を得ることができる。

【0018】すなわち、スリットスキャン方式により、所定パターンの空間像を得ることができる。この場合、スリットの走査方向の幅が投影光学系の開口数を考慮して定められているので、十分な精度で空間像を計測することが可能となる。

【0019】上記請求項 1 及び 2 に記載の各発明に係る空間像計測方法において、請求項 3 に記載の発明の如く、前記スリットの前記第 2 方向の幅は、零より大きく前記照明光の波長  $\lambda$  を前記投影光学系の開口数  $N.A.$  で除した  $(\lambda/N.A.)$  以下であることが望ましい。かかる場合には、解像力に影響を与える 2 つのパラメータである波長  $\lambda$  及び開口数  $N.A.$  の両者を考慮してスリットの走査方向の幅が定められているので、請求項 1 及び 2 に記載の各発明に比べても一層精度良く空間像を計測することが可能になる。ここで、スリットの走査方向の幅が、 $(\lambda/N.A.)$  以下であるとしたのは、第 1 に、発明者が、スリットの走査方向の幅（2D とする）を、 $2D = f(\lambda/N.A.) = n \cdot (\lambda/N.A.)$  として、シミュレーション及び実験等を繰り返し行った結果、係数  $n = 1$  とした場合に良好な結果（十分に実用的な結果）が得られたからであり、第 2 に、後述するように、上記の光電変換信号は、スリットと空間像の強度分布とのコンボリューションになるため、計測精度の面からは、スリットの走査方向の幅 2D は小さい程良いからである。

【0020】この場合において、請求項 4 に記載の発明の如く、前記スリットの前記第 2 方向の幅は、前記  $(\lambda/N.A.)$  の 0.8 倍以下であることが一層望ましい。上述の如く、計測精度の面からは、スリット幅は小さい程良く、発明者が行ったシミュレーションと実験によれば、スリット幅 2D が  $\lambda/(N.A.)$  の 80% 以下であれば、より一層実用的であることが確認された。

【0021】しかしながら、スループット面からの制約を考慮すると、2D があまりに小さいと、スリットを透過する光強度が小さくなりすぎて、計測が困難となるので、ある程度の大きさは必要である。

【0022】上記請求項 1 及び 2 に記載の各発明に係る空間像計測方法において、請求項 5 に記載の発明の如く、前記スリットの前記第 2 方向の幅は、前記照明光及び前記パターンの種別を含む照明条件によって定まる解像限界のラインアンドスペースパターンのピッチである最小ピッチの半分の奇数倍であることとしても良い。

【0023】ここで、コンベンショナル照明の下で、位相シフト法等を用いない通常パターンの場合、上記の最小ピッチは、ほぼ  $\lambda/N.A.$  となり、位相シフトパターン、すなわち、位相シフト法を採用した位相シフトマスク（位相シフトレチクル）のパターンの場合には、最小ピッチは、ほぼ  $\lambda/(2N.A.)$  となることが、確認されている。なお、位相シフトマスクとしては、ハー

フトーン型、レベンソン型などが挙げられる。

【0024】上記請求項1及び2に記載の各発明に係る空間像計測方法において、請求項6に記載の発明の如く、前記スリットの前記第2方向の幅は、前記照明光の波長を $\lambda$ 、前記投影光学系の開口数を $N.A.$ として、 $\{\lambda / (2 N.A.)\}$ の奇数倍として規定されることとしても良い。

【0025】上記請求項1～6に記載の各発明において、請求項7に記載の発明の如く、前記光電変換信号をフーリエ変換して空間周波数分布を求め、該求めた空間周波数分布を前記スリットの既知の周波数スペクトルで割り返して元の空間像のスペクトル分布に変換し、該スペクトル分布を逆フーリエ変換することにより元の空間像を回復する工程を更に含むことができる。

【0026】請求項8に記載の発明は、投影光学系の結像特性を計測する結像特性計測方法であって、照明光によって所定のパターンを照明し、該パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成する工程と；前記投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びる所定幅のスリットを少なくとも1つ有するスリット板を前記像面近傍の前記2次元平面内で前記第1方向に垂直な前記第2方向に走査するとともに、前記スリットを透過した前記照明光を光電変換して前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る工程と；前記光電変換信号に所定の処理を施して前記投影光学系の結像特性を求める工程と；を含む。

【0027】これによれば、照明光によって所定のパターンを照明し、該パターンの空間像を投影光学系を介して像面上に形成する。この状態で、投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びる所定幅のスリットを少なくとも1つ有するスリット板を像面近傍の前記2次元平面内で第1方向に垂直な第2方向に走査するとともに、スリットを透過した照明光を光電変換してスリットを透過した照明光の強度に応じた光電変換信号を得る。そして、この光電変換信号に所定の処理を施して投影光学系の結像特性を求める。

【0028】すなわち、スリットスキャン方式により、所定パターンの空間像を得ることができ、この得られた光電変換信号に所定の処理を施して投影光学系の結像特性を求めるので、投影光学系の結像特性を精度良く計測することが可能となる。

【0029】この場合において、請求項9に記載の発明の如く、前記パターンは、第2方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンである場合に、前記光電変換信号の検出を、前記スリット板の前記光軸方向の位置を変化させつつ複数回繰り返し、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号をそれぞれフーリエ変換し、それぞれの1次周波数成分と零次周波数成分の振幅比であるコントラストを求め、該コントラストが最大となる光電変換信号に

対応する前記光軸方向の位置を検出することにより前記投影光学系のベストフォーカス位置を検出することとすることができる。上記コントラストは、フォーカス位置（デフォーカス量）に応じて敏感に変化するので、本発明によれば、投影光学系のベストフォーカス位置を精度良く、かつ容易に計測（決定）することができる。

【0030】この場合において、請求項10に記載の発明の如く、前記ベストフォーカス位置の検出を、前記投影光学系の光軸からの距離が異なる複数点に関して繰り返し行うことにより、前記投影光学系の像面形状を検出する工程を更に含むことができる。像面、すなわち、最良結像面は、光軸からの距離が異なる無数の点（すなわち、いわゆる像の高さが異なる無数の点）におけるベストフォーカス点の集合から成る面であるから、ベストフォーカス位置の検出を、前記投影光学系の光軸からの距離が異なる複数点に関して繰り返し行い、その検出結果に基づいて統計的処理を行うことにより容易にかつ正確に像面を求めることが可能になる。

【0031】上記請求項9に記載の発明に係る結像特性計測方法において、請求項11に記載の発明の如く、前記投影光学系の光軸における前記ベストフォーカス位置の検出を、異なるピッチの複数の前記ラインアンドスペースパターンについて繰り返し行い、前記各パターンに対応する前記ベストフォーカス位置の差に基づいて前記投影光学系の球面収差を求める工程を更に含むことができる。球面収差は、光学系の開口収差の1つであり、光軸上の物点からの種々の開口を持った光線束が光学系に入射したとき、その対応した像点が一点に結像しない現象である。従って、投影光学系の光軸におけるベストフォーカス位置の検出を、異なるピッチの複数のラインアンドスペースパターンについて繰り返し行い、各パターンに対応するベストフォーカス位置の差に基づいて演算により球面収差を簡単に求めることができる。

【0032】上記請求項8に記載の発明に係る結像特性計測方法において、請求項12に記載の発明の如く、前記パターンは、前記第2方向の幅が前記スリットの前記第2方向の幅より大きい矩形パターンを少なくとも1つ含むパターンであり、前記空間像の形成と前記光電変換信号の検出とを、前記投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影される前記パターンの空間像について繰り返し行い、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号それぞれの位相を検出し、該位相検出の結果に基づいて前記各光電変換信号に対応する空間像の位置をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることとすることができる。

【0033】ここで、ディストーションとは、イメージフィールド内の周辺で本来直線になるべきものが曲った像になる投影光学系の収差であり、ディストーションにより倍率誤差がある場合と同様に、パターン像が像面上

の所定の位置からずれて（横ずれして）結像される。

【0034】本発明によれば、位相検出の手法により、投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影されるパターン空間像の位置ずれをそれぞれ精度良く求めることができるので、結果的にディストーション及び倍率の少なくとも一方を精度良く計測することができる。ここで、パターンは、第2方向の幅がスリットの第2方向の幅より大きい矩形パターンを少なくとも1つ含むこととしたのは、パターンの第2方向の幅がスリットより小さいと、コマ収差等の他の収差の影響により、ディストーションを正確に測定することが困難になるからである。

【0035】上記請求項8に記載の発明に係る結像特性計測方法において、請求項13に記載の発明の如く、前記パターンは、前記第2方向の幅が前記スリットの前記第2方向の幅より大きい矩形パターンを少なくとも1つ含むパターンである場合に、前記空間像の形成と前記光電変換信号の検出とを、前記投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影される前記パターンの空間像について繰り返し行い、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号それぞれと所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記各光電変換信号に対応する空間像の位置をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることができる。

【0036】本発明によれば、スライス法を用いたエッジ検出の手法により、投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影されるパターン空間像の位置をそれぞれ精度良く求めることができ、結果的にディストーションを精度良く計測することができる。ここで、パターンは、第2方向の幅がスリットの第2方向の幅より大きい矩形パターンを少なくとも1つ含むこととしたのは、請求項12の場合と同様の理由による。

【0037】上記請求項8に記載の結像特性計測方法において、請求項14に記載の発明の如く、前記パターンは、全体として矩形形状で、前記第1方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンであるとしても良い。かかる場合には、スリットスキャン方式により、所定パターンの空間像の検出が行われる際に、スリットがパターンの周期方向に垂直な方向に相対走査され、結果的に、そのパターンの全体形状と同形状の矩形パターンをスリットスキャンしたときと、同様の空間像の信号を得ることができる。これにより、例えば、最近のCMPプロセスにおいて、ディッシングが生じるため形成が困難とされていた10 $\mu$ m角のBOXマーク（インナーBOXマーク）パターンなどを実際に形成することなく、かかるマークパターンを用いたときと同等の空間像計測が可能となる。

【0038】この場合において、請求項15に記載の発

明の如く、前記空間像の形成と前記光電変換信号の検出とを、前記投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影される前記パターンの空間像について繰り返し行い、前記所定の処理として、前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号それぞれと所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記各光電変換信号に対応する空間像の位置をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることとしても良い。

【0039】上記請求項8に記載の発明に係る結像特性計測方法において、請求項16に記載の発明の如く、前記パターンは、前記第2方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンである場合に、前記所定の処理として、前記光電変換信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記各ラインパターンの線幅異常値を算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることとすることができる。

【0040】コマ収差は、レンズの種々の輪帯で倍率が異なることによるレンズの収差であり、投影光学系の主軸から離れた距離の画像の部分に生じる。従って、光軸から離れた位置では、ラインアンドスペースパターンの空間像の内、各ラインパターンの線幅はコマ収差に応じて異なることになる。従って、スライス法を用いてエッジ検出の手法により各ラインパターンの線幅異常値を検出する本発明によれば、コマ収差を精度良く、かつ容易に計測することが可能となる。

【0041】上記請求項8に記載の発明に係る結像特性計測方法において、請求項17に記載の発明の如く、前記パターンは、前記第2方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンである場合に、前記所定の処理として、前記光電変換信号の前記各ラインパターンのピッチに対応する第1基本周波数成分と、前記ラインアンドスペースパターンの全体の幅に対応する第2周波数成分との位相差を算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることとすることができる。空間像計測の対象となるパターンの走査方向の幅が狭いほど、コマ収差の影響を大きく受けるので、ラインアンドスペースパターンの各ラインパターンの空間像に対するコマ収差の影響と、ラインアンドスペースパターンの全体を1つのパターンと見た場合のそのパターンの空間像に対するコマ収差の影響とは相違する。従って、光電変換信号の各ラインパターンのピッチに対応する第1基本周波数成分と、ラインアンドスペースパターンの全体の幅に対応する第2周波数成分との位相差を算出し、該算出結果に基づいて投影光学系のコマ収差を求める本発明によれば、位相検出の手法により、投影光学系のコマ収差を精度良く求めることができる。

【0042】上記請求項8に記載の発明に係る結像特性計測方法において、請求項18に記載の発明の如く、前記パターンは、前記第2方向に対応する方向に所定間隔



で配置された線幅の異なる少なくとも 2 種類のラインパターンを有する対称マークパターンである場合、前記所定の処理として、前記光電変換信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記パターンの空間像の対称性のずれを算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることとすることができる。走査方向の幅が細いラインパターンの空間像ほどコマ収差の影響により大きく位置ずれする結果、走査方向に対応する方向に所定間隔で配置された線幅の異なる複数種類のラインパターンを有する対称マークパターンの空間像は、コマ収差が大きいほどその対称性が大きくずれる。従って、スライス法を用いたエッジ検出の手法により、前記対称性マークパターンの空間像の対称性のずれを算出し、その算出結果に基づいて投影光学系のコマ収差を求める本発明によれば、投影光学系のコマ収差を精度良く求めることができる。

【0043】請求項 19 に記載の発明は、投影光学系によって形成される所定のパターンの空間像を計測する空間像計測装置であって、前記パターンの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成するため、前記パターンを照明する照明装置 (10) と；前記投影光学系の光軸に垂直な 2 次元平面内で第 1 方向に延びるとともに、これに垂直な第 2 方向の幅が零より大きく前記照明光の波長  $\lambda$  を前記投影光学系の開口数  $N.A.$  で除した ( $\lambda/N.A.$ ) 以下である、少なくとも 1 つのスリットを有するスリット板 (90) と；前記スリット板を透過した前記照明光を光電変換して、前記スリットを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を出力する光電変換素子 (24) と；前記照明装置により前記パターンが照明され、前記像面上に前記空間像が形成された状態で、前記像面近傍の前記 2 次元平面内で前記スリット板を前記第 2 方向に走査するとともに、前記光電変換素子からの光電変換信号に基づいて前記空間像に対応する光強度分布を計測する処理装置 (20) と；を備える。

【0044】これによれば、照明装置によって所定のパターンが照明され、該パターンの空間像が投影光学系を介して像面上に形成される。そして、処理装置により、形成された空間像に対して投影光学系の光軸に垂直な 2 次元平面内で第 1 方向に延びる少なくとも 1 つのスリットを有するスリット板が像面近傍の前記 2 次元平面内で第 2 方向に走査されるとともに、光電変換素子からの光電変換信号 (走査中にスリットを透過した照明光を光電変換した電気信号) に基づいて空間像に対応する光強度分布が計測される。すなわち、このようにして、スリットスキャン方式により、所定パターンの空間像が計測される。また、この場合、スリット板に形成されたスリットの走査方向の幅が、( $\lambda/N.A.$ ) 以下であるので、上記請求項 3 と同様に、実用上十分な高い精度で空間像を計測することができる。

【0045】請求項 20 に記載の発明は、マスク (R)

に形成された回路パターンを投影光学系 (PL) を介して基板 (W) に転写する露光装置であって、前記基板を保持する基板ステージ (WST) と；前記スリット板 (90) が前記基板ステージと一体で移動可能に構成された請求項 19 に記載の空間像計測装置とを備える。

【0046】これによれば、スリット板が基板ステージと一体で移動可能に構成された請求項 18 に記載の空間像計測装置を備えることから、例えば、マスクに種々の計測用パターンを形成し、基板ステージと一体でスリット板を移動させつつ、空間像計測装置により、種々の計測用パターンの空間像を高精度に計測することが可能になる。従って、この計測結果を利用して、例えば投影光学系の結像特性の初期調整等を行うことにより、結果的に露光精度の向上が可能となる。

【0047】この場合において、請求項 21 に記載の発明の如く、前記空間像計測装置を用いて、種々のマークパターンの空間像に対応する光強度分布を計測し、その計測された前記光強度分布のデータに基づいて前記投影光学系の結像特性を求める制御装置 (20) を更に備えることとすることができる。かかる場合には、制御装置により、種々のマークパターンの空間像に対応する光強度分布を計測し、その計測された光強度分布のデータに基づいて投影光学系の結像特性が求められる。そのため、必要ときに投影光学系の結像特性を求めることが可能となり、この求められた結像特性に応じて露光開始に先立って投影光学系の結像特性を調整することが可能となる。従って、露光精度の向上が可能となる。

【0048】上記請求項 20 に記載の発明に係る露光装置において、請求項 22 に記載の発明の如く、前記基板ステージ上のマークの位置を検出するマーク検出系 (ALG1 又は ALG2) と；前記空間像計測装置を用いて、前記投影光学系による前記マスクのパターンの投影位置と前記マーク検出系との相対位置関係を検出する制御装置を更に備えることとすることができる。かかる場合には、制御装置により、空間像計測装置を用いて、前記投影光学系による前記マスクのパターンの投影位置、すなわち前記パターンの空間像の結像位置とマーク検出系との相対位置関係 (すなわち、マーク検出系のいわゆるベースライン量) が検出される。この場合、ベースライン量の計測に当たり、マスクパターンの投影位置を、空間像計測装置により直接的に計測することができるので、基準マーク板とレチクル顕微鏡とを用いてマスクパターンの投影位置を間接的に計測する場合に比べて、精度の高いベースライン量の計測が可能である。従って、このベースライン量を用いて、露光時等に基板の位置を制御することにより、マスクと基板との重ね合せ精度の向上により露光精度の向上が可能となる。

【0049】

【発明の実施の形態】《第 1 の実施形態》以下、本発明の第 1 の実施形態を図 1 ないし図 34 に基づいて説明す

る。

【0050】図1には、第1の実施形態に係る露光装置100の概略的な構成が示されている。この露光装置100は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置、すなわちいわゆるスキャニング・ステッパである。

【0051】この露光装置100は、光源及び照明光学系を含む照明系10、マスクとしてのレチクルRを保持するレチクルステージRST、投影光学系PL、基板としてのウエハWを保持してXY平面内を自在に移動可能な基板ステージとしてのウエハステージWST、及びこれらを制御する制御系等を備えている。

【0052】前記照明系10は、光源、照度均一化光学系（コリメータレンズ、フライアイレンズ等から成る）、リレーレンズ系、照明視野絞りとしてのレチクルブラインド及びコンデンサレンズ系等（いずれも図1では図示省略）を含んで構成されている。

【0053】前記光源としては、ここでは、一例として、KrFエキシマレーザ光（波長248nm）又はArFエキシマレーザ光（波長193nm）を出力するエキシマレーザ光源が用いられるものとする。

【0054】前記レチクルブラインドは、開口形状が固定の不図示の固定レチクルブラインドと開口形状が可変の可動レチクルブラインド12（図1では図示省略、図2参照）とから構成されている。固定レチクルブラインドは、レチクルRのパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクルR上の長方形スリット状の照明領域IARを規定する矩形開口が形成されている。また、可動レチクルブラインド12は、固定レチクルブラインドの近傍のレチクルRのパターン面に対する共役面に配置され、走査露光時の走査方向（ここでは、図1における紙面直交方向であるY軸方向とする）及び非走査方向（図1における紙面左右方向であるX軸方向）にそれぞれ対応する方向の位置及び幅が可変の開口部を有する。

【0055】照明系10によると、光源で発生した露光光としての照明光（以下、「照明光IL」と呼ぶ）は不図示のシャッターを通過した後、照度均一化光学系により照度分布がほぼ均一な光束に変換される。照度均一化光学系から射出された照明光ILは、リレーレンズ系を介して前記レチクルブラインドに達する。このレチクルブラインドを通過した光束は、リレーレンズ系、コンデンサレンズ系を通過して回路パターン等が描かれたレチクルRの照明領域（X軸方向に細長く伸びY軸方向の幅が所定幅の長方形スリット状の照明領域）IARを均一な照度で照明する。

【0056】なお、可動レチクルブラインド12は、走査露光の開始時及び終了時に主制御装置20によって制御され、照明領域IARを更に制限することによって、不要な部分の露光が防止されるようになっている。ま

た、本実施形態では、可動レチクルブラインド12が、後述する空間像計測器による空間像の計測の際の照明領域の設定にも用いられる。

【0057】前記レチクルステージRST上には、レチクルRが、例えば真空吸着（又は静電吸着）により固定されている。レチクルステージRSTは、ここでは、リニアモータ等を含む不図示のレチクルステージ駆動系により、後述する投影光学系PLの光軸AXに垂直なXY平面内で2次的に（X軸方向及びこれに直交するY軸方向及びXY平面に直交するZ軸回りの回転方向（ $\theta_z$ 方向）に）微少駆動可能であるとともに、不図示のレチクルベース上をY軸方向に指定された走査速度で移動可能となっている。このレチクルステージRSTは、レチクルRの全面が少なくとも投影光学系PLの光軸AXを横切ることができるだけのY軸方向の移動ストロークを有している。

【0058】レチクルステージRST上には、レチクルレーザ干渉計（以下、「レチクル干渉計」という）13からのレーザビームを反射する移動鏡15が固定されており、レチクルステージRSTのXY面内の位置はレチクル干渉計13によって、例えば0.5～1nm程度の分解能で常時検出される。ここで、実際には、レチクルステージRST上には走査露光時の走査方向（Y軸方向）に直交する反射面を有する移動鏡と非走査方向（X軸方向）に直交する反射面を有する移動鏡とが設けられ、レチクル干渉計13はY軸方向に1軸、X軸方向には2軸設けられているが、図1ではこれらが代表的に移動鏡15、レチクル干渉計13として示されている。

【0059】レチクル干渉計13からのレチクルステージRSTの位置情報は、ワークステーション（又はマイクロコンピュータ）から成る主制御装置20に送られ、主制御装置20ではレチクルステージRSTの位置情報に基づいてレチクルステージ駆動系を介してレチクルステージRSTを駆動制御する。

【0060】前記投影光学系PLは、レチクルステージRSTの図1における下方に配置され、その光軸AXの方向がZ軸方向とされ、ここでは両側テレセントリックな縮小系であり、光軸AX方向に沿って所定間隔で配置された複数枚のレンズエレメントから成る屈折光学系が使用されている。この投影光学系PLの投影倍率は、ここでは、一例として1/5となっている。このため、照明系10からの照明光ILによってレチクルR上のスリット状照明領域IARが照明されると、このレチクルRを通過した照明光ILにより、投影光学系PLを介してそのスリット状照明領域IAR内のレチクルRの回路パターンの縮小像（部分倒立像）が表面にフォトレジストが塗布されたウエハW上の前記照明領域IARに共役な露光領域IAに形成される。

【0061】前記ウエハステージWSTは、ステージベース16上面に沿って例えば磁気浮上型2次元リニアア

クチュエータから成る不図示のウエハステージ駆動系により、XY2次元面内（ $\theta_z$ 回転を含む）で自在に駆動されるようになっている。ここで、2次元リニアアクチュエータは、X駆動コイル、Y駆動コイルの他、Z駆動コイルをも有しているため、ウエハステージWSTは、Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ の3自由度方向にも微小駆動が可能な構成となっている。

【0062】ウエハステージWST上には、ウエハホルダ25が載置され、このウエハホルダ25によってウエハWが真空吸着（又は静電吸着）によって保持されている。

【0063】なお、ウエハステージWSTに代えて、リニアモータあるいは平面モータ等の駆動系によってXY2次元面内でのみ駆動される2次元移動ステージを用いる場合には、ウエハホルダ25を、Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ の3自由度方向にボイスコイルモータ等によって微小駆動されるZ・レベリングテーブルを介してその2次元移動ステージ上に搭載すれば良い。

【0064】前記ウエハステージWST上には、ウエハレーザ干渉計（以下、「ウエハ干渉計」という）31からのレーザビームを反射する移動鏡27が固定され、外部に配置されたウエハ干渉計31により、ウエハステージWSTのXY面内の位置が例えば0.5～1nm程度の分解能で常時検出されている。

【0065】ここで、実際には、ウエハステージWST上には、走査露光時の走査方向であるY軸方向に直交する反射面を有する移動鏡と非走査方向であるX軸方向に直交する反射面を有する移動鏡とが設けられ、ウエハ干渉計31はY軸方向に1軸、X軸方向には2軸設けられているが、図1ではこれらが代表的に移動鏡27、ウエハ干渉計31として示されている。ウエハステージWSTの位置情報（又は速度情報）は主制御装置20に送られ、主制御装置20では前記位置情報（又は速度情報）に基づいて不図示のウエハステージ駆動系を介してウエハステージWSTのXY面内の位置を制御する。

【0066】また、ウエハステージWST上には、投影光学系PLの結像特性の計測に用いられる空間像計測器59が設けられている。ここで、この空間像計測器59の構成について詳述する。この空間像計測器59は、図2に示されるように、ウエハステージWSTの一端部上面に設けられた上部が開口した突設部58a部分に設けられている。この空間像計測器59は、突設部58aの開口を塞ぐ状態で上方から嵌め込まれた平面視長方形の受光ガラス82、この受光ガラス82の上面に形成され、その一部にスリット22が形成された遮光膜を兼ねる反射膜83、スリット22下方ウエハステージWST内部に配置されたレンズ84、86から成るリレー光学系、該リレー光学系（84、86）によって所定光路長分だけリレーされる照明光束（像光束）の光路を折り曲げる折り曲げミラー88（ここで、レンズ84、86、

及びミラー88によって受光光学系が構成される）、及び光電変換素子としての光センサ24等を含んで構成されている。

【0067】前記受光ガラス82の素材としては、ここでは、KrFエキシマレーザ光、あるいはArFエキシマレーザ光の透過性の良い、合成石英、あるいはホタル石などが用いられる。また、光センサ24としては、微弱な光を精度良く検出することが可能な光電変換素子（受光素子）、例えばフォトマルチップライヤなどが用いられる。なお、本実施形態では、受光ガラス82及び反射膜83によって、スリット板が形成されている。以下の説明においては、受光ガラス82と反射膜83とから成るスリット板を、適宜「スリット板90」と呼ぶものとする。また、前述の如く、スリット22は反射膜83に形成されているが、以下においては、便宜上スリット板90にスリット22が形成されているものとして説明を行う。

【0068】本実施形態では、後述する、レチクルRに形成された計測用パターン（投影光学系PLを介しての投影像（空間像））の計測の際に、投影光学系PLを透過してきた照明光ILによって空間像計測器59を構成するスリット板90が照明されると、そのスリット板90上のスリット22を透過した照明光ILが上記受光光学系（84、86、88）を介して光センサ24で受光され、該光センサ24からその受光量に応じた光電変換信号（光量信号）Pが主制御装置20に出力されるようになっている。

【0069】なお、光センサ24は、必ずしもウエハステージWSTの内部に設ける必要はなく、例えば、図3に示される空間像計測器59'の如く、光センサ24をウエハステージWSTの外部に配置しても良い。図3において、ウエハステージWSTには、その上面がウエハWの表面とほぼ同一面とされた2つの凸部58a、58bが設けられている。凸部58aには、図2の場合と同様に構成されたスリット板90が設けられ、該スリット板90下方のウエハステージWSTの内部には、レンズ84、86及びミラー88が図2と同様の位置関係で配置されている。この場合、ウエハステージWSTの内部には、ライトガイド85も収納されている。このライトガイド85は、その入射端85aが、スリット22が形成された受光面に共役な位置に配置されている。また、このライトガイド85の射出端85bは、凸部58bの上面に固定された送光レンズ87のほぼ真下に配置されている。

【0070】送光レンズ87の上方には、該送光レンズ87に比べて大径の受光レンズ89が配置されている。この受光レンズ89の上方の射出端85bと共役な位置には、光センサ24が配置されている。これら受光レンズ89及び光センサ24は、上記の位置関係を保ってケース92内に収納され、該ケース92は不図示の固定部

材に固定されている。

【0071】この図3の空間像計測器59'では、後述する、レチクルRに形成された計測用パターン<sup>10</sup>の投影光学系PLを介しての投影像（空間像）の計測の際に、投影光学系PLを透過してきた照明光ILによって空間像計測器59'を構成するスリット板90が照明されると、そのスリット板90上のスリット22を透過した照明光ILがレンズ84、ミラー88及びレンズ86を介してライトガイド85の入射端85aに入射する。ライトガイド85で導かれた光は、その射出端85bから射出された後、送光レンズ87を介してウエハステージWSTの外部に導き出される。そして、そのウエハステージWSTの外部に導き出された光は、受光レンズ89を介して光センサ24によって受光され、該光センサ24からその受光量に応じた光電変換信号（光量信号）Pが主制御装置20に出力される。

【0072】この場合、計測用パターン<sup>20</sup>の投影像の計測はスリットスキャン方式により行われるので、その際には、送光レンズ87に対して受光レンズ89及び光センサ24が、移動することになる。そこで、この空間像計測器59'では、所定の範囲内で移動する送光レンズ87を介した光がすべて受光レンズ89に入射するように、各レンズの大きさが設定されている。

【0073】このように、空間像計測器59'では、スリット板90、レンズ84、86、ミラー88、ライトガイド85及び送光レンズ87により、スリット22を介した光をウエハステージWST外に導出する光導出部が構成され、受光レンズ89及び光センサ24によって、ウエハステージWST外へ導出された光を受光する受光部が構成されている。この場合、これら光導出部と受光部とは、機械的に分離されている。そして、空間像計測に際してのみ、光導出部と受光部とは、送光レンズ87と受光レンズ89とを介して光学的に接続される。

【0074】すなわち、空間像計測器59'では、光センサ24がウエハステージWSTの外部の所定位置に設けられているため、光センサ24の発熱に起因してレーザ干渉計31の計測精度等に悪影響を与えたりすることがない。また、ウエハステージWSTの外部と内部とをライトガイド等により接続していないので、ウエハステージWSTの外部と内部とがライトガイドにより接続された場合のようにウエハステージWSTの駆動精度が悪影響を受けることもない。

【0075】なお、空間像計測器59（又は59'）を構成するスリット板90上のスリット22の形状、寸法等、及び空間像計測器59（又は59'）を用いて行われる空間像計測方法、結像特性の計測方法などについては、後に詳述する。

【0076】図1に戻り、投影光学系PLの側面には、ウエハW上のアライメントマーク（位置合わせマーク）を検出するマーク検出系としてのオフアクシス・アライ

メント顕微鏡ALG1が設けられている。本実施形態では、このアライメント顕微鏡ALG1として、画像処理方式のFIA（Filed Image Alignment）系のアライメントセンサが用いられている。このアライメント顕微鏡ALG1は、図2に示されるように、アライメント用光源32、ハーフミラー34、第1対物レンズ36、第2対物レンズ38、撮像素子（CCD）40等を含んで構成されている。ここで、光源32としては、ブロードバンドの照明光を射出するハロゲンランプ等が用いられる。このアライメント顕微鏡ALG1では、図4に示されるように、光源32からの照明光により、ハーフミラー34、第1対物レンズ36を介してウエハW上のアライメントマークMwを照明し、そのアライメントマーク部分からの反射光を第1対物レンズ36、ハーフミラー34、第2対物レンズ38を介して撮像素子40で受光する。これにより、撮像素子の受光面にアライメントマークMwの明視野像が結像される。そして、この明視野像に対応する光電変換信号、すなわちアライメントマークMwの反射像に対応する光強度信号が撮像素子40から主制御装置20に供給される。主制御装置20では、この光強度信号に基づき、アライメント顕微鏡ALGの検出中心を基準とするアライメントマークMwの位置を算出するとともに、その算出結果とそのときのウエハ干渉計31の出力であるウエハステージWSTの位置情報とに基づいて、ウエハ干渉計31の光軸で規定されるステージ座標系におけるアライメントマークMwの座標位置を算出するようになっている。

【0077】更に、本実施形態の露光装置100では、図1に示されるように、主制御装置20によってオンオフが制御される光源を有し、投影光学系PLの結像面に向けて多数のピンホールまたはスリットの像を形成するための結像光束を、光軸AXに対して斜め方向より照射する照射光学系60aと、それらの結像光束のウエハW表面での反射光束を受光する受光光学系60bとから成る斜入射光式の多点焦点位置検出系（フォーカスセンサ）が設けられている。主制御装置20では、投影光学系PLにフォーカス変動が生じた場合には、受光光学系60b内の図示しない平行平板の反射光束の光軸に対する傾きを制御することにより、投影光学系PLのフォーカス変動に応じて焦点位置検出系（60a、60b）にオフセットを与えてそのキャリブレーションを行うようになっている。なお、本実施形態の焦点位置検出系（60a、60b）と同様の多点焦点位置検出系（フォーカスセンサ）の詳細な構成は、例えば特開平6-283403号公報等に開示されている。

【0078】主制御装置20では、後述する走査露光時等に、受光光学系60bからの焦点ずれ信号（デフォーカス信号）、例えばSカーブ信号に基づいて焦点ずれが零となるようにウエハステージWSTのZ位置及びピッチング量（ $\theta$  x 回転量）及びローリング量（ $\theta$  y 回転

量)を、不図示のウエハステージ駆動系を介して制御することにより、オートフォーカス(自動焦点合わせ)及びオートレベリングを実行する。

【0079】次に、本実施形態の露光装置100における露光工程の動作について簡単に説明する。

【0080】まず、不図示のレチクル搬送系によりレチクルRが搬送され、ローディングポジションにあるレチクルステージRSTに吸着保持される。次いで、主制御装置20により、ウエハステージWST及びレチクルステージRSTの位置が制御され、レチクルR上に形成された不図示のレチクルアライメントマークの投影像(空間像)が空間像計測器59を用いて後述するようにして計測され(図2参照)、レチクルパターン像の投影位置が求められる。すなわち、レチクルアライメントが行われる。

【0081】次に、主制御装置20により、空間像計測器59がアライメント顕微鏡ALG1の直下へ位置するように、ウエハステージWSTが移動され、アライメント光学系ALG1によって空間像計測器59の位置基準となるスリット22が検出される。図5には、このアライメント光学系ALG1によってスリット22が検出されている様子が示されている。主制御装置20では、このアライメント顕微鏡ALG1の検出信号及びそのときのウエハ干渉計31の計測値、並びに先に求めたレチクルパターン像の投影位置に基づいて、レチクルRのパターン像の投影位置とアライメント光学系ALG1との相対位置、すなわちアライメント顕微鏡ALG1のベースライン量を求める。

【0082】かかるベースライン計測が終了すると、主制御装置20により、例えば特開昭61-44429号公報などに詳細に開示されるEGA(エンハンスト・グローバル・アライメント)等のウエハアライメントが行われ、ウエハW上の全てのショット領域の位置が求められる。なお、このウエハアライメントに際して、ウエハW上の複数のショット領域のうちの予め定められた所定のサンプルショットのウエハアライメントマークMwがアライメント顕微鏡ALG1を用いて、前述した如くして計測される(図2参照)。

【0083】次いで、主制御装置20では、上で求めたウエハW上の各ショット領域の位置情報及びベースライン量に基づいて、干渉計31、13からの位置情報をモニタしつつ、ウエハステージWSTを第1ショット領域の走査開始位置に位置決めするとともに、レチクルステージRSTを走査開始位置に位置決めして、その第1ショット領域の走査露光を行う。

【0084】すなわち、主制御装置20では、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとのY軸方向逆向きの相対走査を開始し、両ステージRST、WSTがそれぞれの目標走査速度に達すると、露光光ELによってレチクルRのパターン領域が照明され始め、走査露光

が開始される。この走査露光の開始に先立って、光源の発光は開始されているが、主制御装置20によってレチクルブラインドを構成する可動ブラインドの各ブレードの移動がレチクルステージRSTの移動と同期制御されているため、レチクルR上のパターン領域外への露光光ELの照射が遮光されることは、通常のスキャニング・ステッパと同様である。

【0085】主制御装置20では、特に上記の走査露光時にレチクルステージRSTのY軸方向の移動速度 $V_r$ とウエハステージWSTのX軸方向の移動速度 $V_w$ とが投影光学系PLの投影倍率に応じた速度比に維持されるようにレチクルステージRST及びウエハステージWSTを同期制御する。

【0086】そして、レチクルRのパターン領域の異なる領域が紫外パルス光で逐次照明され、パターン領域全面に対する照明が完了することにより、ウエハW上の第1ショット領域の走査露光が終了する。これにより、レチクルRの回路パターンが投影光学系PLを介して第1ショット領域に縮小転写される。

【0087】こうして第1ショット領域の走査露光が終了すると、ウエハステージWSTを第2ショット領域の走査開始位置へ移動させるショット間のステッピング動作を行う。そして、その第2ショット領域の走査露光を上述と同様に行う。以後、第3ショット領域以降も同様の動作を行う。

【0088】このようにして、ショット間のステッピング動作とショットの走査露光動作とが繰り返され、ステップアンドスキャン方式でウエハW上の全てのショット領域にレチクルRのパターンが転写される。

【0089】ここで、上記の走査露光中には、投影光学系PLに一体的に取付けられたフォーカスセンサ(60a、60b)によってウエハW表面と投影光学系PL(その像面)との間隔、XY平面(像面)に対する傾斜が計測され、主制御装置20によってウエハW表面と投影光学系PLとの間隔、平行度が常に一定になるようにウエハステージWSTが制御される。

【0090】ところで、上記の走査露光中に、レチクルRのパターンとウエハW上のショット領域に既に形成されたパターンとが正確に重ね合わせられるためには、投影光学系PLの結像特性やベースライン量が正確に計測されていること、及び投影光学系PLの結像特性が所望の状態に調整されていることなどが重要である。

【0091】本実施形態では、上記の結像特性の計測に、空間像計測器59又は59'(以下、代表して「空間像計測器59」と記す)が用いられる。以下、この空間像計測器59による空間像計測、及び投影光学系PLの結像特性の計測等について詳述する。

【0092】図2には、空間像計測器59を用いて、レチクルRに形成された計測用パターン(以下、代表して「空間像計測パターン」と記す)の空間像が計測されている最中の状態が示されている。レチクルRとして

は、空間像計測専用のもの、あるいはデバイスの製造に用いられるデバイスレチクルに専用の計測用マークを形成したものなどが用いられる。これらのレチクルの代わりに、レチクルステージ R S T にレチクルと同材質のガラス素材から成る固定のマーク板（レチクルフィデュシャルマーク板とも呼ばれる）を設け、このマーク板に計測用マーク（計測用パターン）を形成したものをを用いても良い。

【0093】ここで、レチクル R には、図 2 に示されるように、所定の箇所に X 軸方向に周期性を有するラインアンドスペースマークから成る計測用パターン P M が形成されているものとする。また、空間像計測器 59 のスリット板 90 には、図 6 (A) に示されるように、Y 軸方向に伸びる所定幅 2 D のスリット 2 2 が形成されているものとする。なお、以下では、ラインアンドスペースを適宜「L/S」と略述する。

【0094】空間像の計測に当たり、主制御装置 20 により、可動レチクルブラインド 1 2 が不図示のブラインド駆動装置を介して駆動され、レチクル R の照明光 I L の照明領域が計測用パターン P M 部分のみに規定される（図 2 参照）。この状態で、照明光 I L がレチクル R に照射されると、図 2 に示されるように、計測用パターン P M によって回折、散乱した光（照明光 I L）は投影光学系 P L により屈折され、該投影光学系 P L の像面に計測用パターン P M の空間像（投影像）P M' が形成される。このとき、ウエハステージ W S T は、空間像計測器 59 のスリット板 90 上のスリット 2 2 の + X 側（又は - X 側）に前記空間像 P M' が形成される位置に設定されているものとする。このときの空間像計測器 59 の平面図が図 6 (A) に示されている。

【0095】そして、主制御装置 20 により、ウエハステージ駆動系を介してウエハステージ W S T が図 6 (A) 中に矢印 F で示されるように + X 方向に駆動されると、スリット 2 2 が空間像 P M' に対して X 軸方向に走査される。この走査中に、スリット 2 2 を通過する光（照明光 I L）がウエハステージ W S T 内の受光光学系（又は図 3 の場合、光導出部及び受光レンズ）を介して光センサ 24 で受光され、その光電変換信号が主制御装置 20 に供給される。主制御装置 20 では、その光電変換信号に基づいて不図示の信号処理系を介して空間像 P M' に対応する光強度分布を計測する。

【0096】図 6 (B) には、上記の空間像計測の際に

波長(nm)	投影レンズの開口数	(A)波長/投影レンズの開口数	B=A×0.8
248	0.68	364	291
248	0.75	331	264
193	0.65	297	238
193	0.75	257	206
193	0.85	227	182

【0106】上記表 1 からわかるように、開口数、波長によって十分なスリット幅（開口サイズ：表 1 中の B）は異なるが、概略 300 nm 以下が適切な値であ

得られる光電変換信号（光強度信号）P の一例が示されている。

【0097】この場合、空間像 P M' はスリット 2 2 の走査方向（走査露光時の走査方向ではなく、上記の空間像に対する走査方向、すなわち X 軸方向）の幅（2 D）の影響で像が平均化する。

【0098】従って、スリットを p (x)、空間像の強度分布を i (x)、観測される光強度信号を m (x) とすると、空間像の強度分布 i (x) と観測される強度信号 m (x) の関係は次の (1) 式で表すことができる。この (1) 式において、強度分布 i (x)、強度信号 m (x) の単位は単位長さ当たりの強度とする。

【0099】

【数 1】

$$m(x) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x-u) \cdot i(u) du \quad \dots(1)$$

【0100】

【数 2】

$$p(x) = \begin{cases} 1(|x| \leq D) \\ 0(|x| > D) \end{cases} \quad \dots(2)$$

【0101】すなわち、観測される強度信号 m (x) はスリット p (x) と空間像の強度分布 i (x) のコンボリューションになる。

【0102】従って、計測精度の面からは、スリットの走査方向の幅（以下、単に「スリット幅」と呼ぶ）2 D は小さい程良い。

【0103】発明者は、スリット幅 2 D を、照明光 I L の波長 λ、投影光学系 P L の開口数 N、A、の関数 f (λ/N、A、) として、種々のシミュレーション及び実験等を繰り返し行った。その結果、スリット幅 2 D = n · (λ/N、A、) とし、かつ係数 n ≤ 1 とした場合に、十分に実用的であり、特に n ≤ 0.8 であればより実用的であることが確認された。ここで、実用的であるとは、空間像→空間像強度信号の変換の際に像プロファイルの劣化が少なく、光センサ 24（光電変換素子）以降の信号処理系には大きなダイナミック・レンジが不要となり十分な精度が得られることを意味する。

【0104】上記の良好な結果の一例を示せば、例えば、次の表 1 のようになる。

【0105】

【表 1】

波長(nm)	投影レンズの開口数	(A)波長/投影レンズの開口数	B=A×0.8
248	0.68	364	291
248	0.75	331	264
193	0.65	297	238
193	0.75	257	206
193	0.85	227	182

る。この程度のスリットは市販のクロムレチクル（マスクブランクスとも呼ばれる。）を用いて製作可能である。

【0107】クロムレチクルは、通常100nm程度の膜厚のクロム膜が石英基板に蒸着されている。石英基板は、2.286mm、3.048mm、4.572mm、6.35mm厚のものが標準的である。

【0108】上述の如く、スリット幅2Dは、小さいほど良く、本実施形態のようにフォトマルチプライヤを光センサ24として用いる場合には、スリット幅が非常に小さくなくても走査速度を遅くして計測に時間を掛ければ光量（光強度）の検出は可能である。しかしながら、現実には、スループットの面から空間像計測時の走査速度には、一定の制約があるため、スリット幅2Dがあまりにも小さいと、スリット22を透過する光量が小さくなり過ぎて、計測が困難となってしまう。

【0109】発明者がシミュレーション及び実験等により得た知見によれば、スリット幅2Dの最適値は、露光装置の解像限界ピッチ（L/Sパターンのピッチ）の半分程度となることが確認された。これについては、後で更に詳述する。

【0110】これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、照明光学系10、空間像計測器59（スリット板90及び光センサ24を含む）、ウエハステージWST及び主制御装置20によって空間像計測装置が構成されている。また、この内、主制御装置20によって、空間像計測装置の一部を成す処理装置が構成されている。

【0111】上述した空間像計測装置及び空間像計測方法は、a. ベストフォーカス位置の検出、b. パターン像の結像位置の検出、c. アライメント顕微鏡ALGのベースライン計測等に用いられる。

【0112】本実施形態の露光装置100におけるc. ベースライン計測については既に説明したので、以下、上記a. ベストフォーカス位置の検出及びb. パターン像の結像位置の検出について、実施例を交えながら説明する。

〈ベストフォーカス位置の検出〉このベストフォーカス位置の検出は、例えばA. 投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出及び最良結像面（像面）の検出及びB. 球面収差測定などの目的に用いられる。

【0113】図7～図12には、ライン幅0.2μm、デューティ比50%のL/Sマークの空間像を前述した空間像計測方法により計測した場合に対応する結像シミュレーションの結果が示されている。このシミュレーションの条件は、照明光の波長248nm、投影光学系のN.A.=0.68、照明のコヒーレンスファクタσ=0.85で、スリット幅2D=0.3μmである。この条件は、表1のBの条件に近い。なお、図7～図12において、横軸はスリットのX位置（μm）を示し、縦軸は光強度（エネルギー値）を示す。

【0114】図7は、ベストフォーカス位置でのシミュレーション結果を示す。この図7において、実線で示さ

れる波形P2は0.2μmL/Sの空間像で（1）式のi（x）に相当し、点線で示される波形P3がスリットの走査（空間像計測）によって得られる光強度信号で（1）式のm（x）に相当する。

【0115】図8は図7の強度信号P3、すなわちm（x）をフーリエ変換した際の空間周波数成分を、元の強度信号P3とともに示す。図8において、破線で示される波形P4は0次周波数成分を、一点鎖線で示される波形P5は1次周波数成分を、二点鎖線で示される波形P6は2次周波数成分を、実線で示される波形P7は3次周波数成分を、それぞれ示す。なお、図8では、P4～P7は、識別を容易にするため、1.0だけ嵩上げして示されている。

【0116】図9はベストフォーカス位置から0.2μmデフォーカスした場合のシミュレーション結果を示す。この図9において、実線で示される波形P2は0.2μmL/Sの空間像で（1）式のi（x）に相当し、点線で示される波形P3がスリットの走査（空間像計測）によって得られる光強度信号で（1）式のm（x）に相当する。

【0117】図10は図9の強度信号P3をフーリエ変換した際の空間周波数成分を、元の強度信号P3とともに示す。図10において、破線で示される波形P4は0次周波数成分を、一点鎖線で示される波形P5は1次周波数成分を、二点鎖線で示される波形P6は2次周波数成分を、実線で示される波形P7は3次周波数成分を、それぞれ示す。なお、図10では、P4～P7は、識別を容易にするため、1.0だけ嵩上げして示されている。

【0118】図11はベストフォーカス位置から0.3μmデフォーカスした場合のシミュレーション結果を示す。この図11において、実線で示される波形P2は0.2μmL/Sの空間像で（1）式のi（x）に相当し、点線で示される波形P3がスリットの走査（空間像計測）によって得られる光強度信号で（1）式のm（x）に相当する。

【0119】図12は図11の強度信号P3をフーリエ変換した際の空間周波数成分を、元の強度信号P3とともに示す。図12において、破線で示される波形P4は0次周波数成分を、一点鎖線で示される波形P5は1次周波数成分を、二点鎖線で示される波形P6は2次周波数成分を、実線で示される波形P7は3次周波数成分を、それぞれ示す。なお、図12では、P4～P7は、識別を容易にするため、1.0だけ嵩上げして示されている。

【0120】図7と図9とを比較するとわかるように、0.2μmのデフォーカスによって明らかに像の形状が崩れている。また、図9と図11とを比較すると、デフォーカス量の増大に伴って明らかに像の形状がさらに崩れていることがわかる。

【0121】また、上述のように、光強度信号P3を周波数成分に分離すると、いろいろな信号処理が容易に行える。例えば、1次周波数成分P5と0次周波数成分P4との振幅比、すなわち（1次／0次）の振幅比であるコントラストに着目してみると、図8に示されるベストフォーカス位置の場合のコントラストは、0.43である。また、図10に示されるベストフォーカス位置から0.2μmデフォーカスした場合のコントラストは、0.24である。また、図12に示されるベストフォーカス位置から0.3μmデフォーカスした場合のコントラストは、0.047である。

【0122】このように、（1次／0次）の振幅比であるコントラストは、フォーカス位置によって敏感に変化するので強度信号からベストフォーカス位置を決定するのに便利である。すなわち、ベストフォーカス位置は（1次／0次）の振幅比であるコントラストが最大となるフォーカス位置を求めることによって検出可能である。

【0123】そこで、本実施形態では、次のようにして投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を行う。

【0124】このベストフォーカス位置の検出には、例えば、ウエハ上でライン幅0.2μm（レチクル上で1μm）、デューティ比50%のL/Sマークが、計測用パターンPMとして形成された計測用レチクル（便宜上レチクルR'とする）が用いられる。このベストフォーカス位置の検出は、上述したシミュレーションと全く同じ条件の下で行われるものとする。

【0125】まず、不図示のレチクルローダにより、レチクルステージRST上にレチクルR'がロードされる。次に、主制御装置20では、レチクルR'上の計測用パターンPMが、投影光学系PLの光軸上にほぼ一致するように、レチクルステージRSTを移動する。

【0126】次に、主制御装置20では、照明光ILが計測用パターンPM部分のみに照射されるように可動レチクルブラインド12を駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、主制御装置20では、照明光ILをレチクルR'に照射して、前述と同様にして、ウエハステージWSTをX軸方向に走査しながら空間像計測器59を用いて、計測用パターンPMの空間像計測を前述と同様にスリットスキャン方式により行う。この際、主制御装置20では、スリット板90のZ軸方向の位置（すなわち、ウエハステージWSTのZ位置）を変化させつつ、複数回繰り返し、各回の光強度信号（光電変換信号）を内部メモリに記憶する。

【0127】そして、主制御装置20では、前記繰り返しにより得られた複数の光強度信号（光電変換信号）をそれぞれフーリエ変換し、それぞれの1次周波数成分と0次周波数成分の振幅比であるコントラストを求める。そして、主制御装置20では、そのコントラストが最大となる光強度信号に対応するウエハステージWSTのZ

位置（すなわち、スリット板90のZ軸方向の位置）を検出し、この位置を投影光学系PLのベストフォーカス位置として決定する。前述の如く、コントラストは、フォーカス位置（デフォーカス量）に応じて敏感に変化するので、投影光学系PLのベストフォーカス位置を精度良く、かつ容易に計測（決定）することができる。

【0128】なお、2次以上の高次の次数の周波数成分の振幅は一般に小さく、電氣的なノイズ、光学的なノイズに対する振幅が十分に取れない場合もあるが、S/N比（シグナル／ノイズ）の点で問題がない場合には高次の周波数成分の振幅比の変化を観測してもベストフォーカス位置を求めることができる。計測用パターンであるL/Sマークはライン幅とスペース幅が等しいデューティ比50%のパターンであることが望ましいが、それ以外のデューティ比のマークを用いることも可能である。発明者が実験等の結果得た知見によれば、L/Sマークのラインパターンの配列周期、すなわちマークピッチP<sub>u</sub>は、次の（3）式程度である場合に良好な結果が得られることが判明した。

【0129】

$$P_u = \lambda / N, A, \times (1 \sim 1.2) \quad \dots (3)$$

なお、上述したコントラストを用いる方法に限らず、光強度信号P（（1）式のm（x））の微分値が最大となるZ位置（フォーカス位置）を検出する手法によってもベストフォーカス位置の検出が可能である。

【0130】また、投影光学系PLの像面形状の検出は、次のようにして行うことができる。

【0131】すなわち、この像面形状の検出に際しては、一例として図13に示されるように、パターン領域PA内に、前述した計測用パターンPMと同一寸法同一周期の計測用パターンPM<sub>1</sub>～PM<sub>n</sub>が形成された計測用レチクルR1が用いられる。

【0132】まず、不図示のレチクルローダにより、レチクルステージRST上にレチクルR1がロードされる。次に、主制御装置20では、レチクルR1の中央に存在する計測用パターンPM<sub>k</sub>が、投影光学系PLの光軸上にほぼ一致するように、レチクルステージRSTを移動する。次に、主制御装置20では、照明光ILが計測用パターンPM<sub>1</sub>部分のみに照射されるように可動レチクルブラインド12を駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、主制御装置20では、照明光ILをレチクルR1に照射して、前述と同様にして、スリットスキャン方式により空間像計測器59を用いて計測用パターンPM<sub>1</sub>の空間像計測及び投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を行い、その結果を内部メモリに記憶する。

【0133】計測用パターンPM<sub>1</sub>を用いたベストフォーカス位置の検出が終了すると、主制御装置20では、照明光ILが計測用パターンPM<sub>2</sub>部分のみに照射されるように可動レチクルブラインド12を駆動制御して照



明領域を規定する。この状態で、上記と同様に、スリットスキャン方式で計測用パターンPM<sub>2</sub>の空間像計測及び投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を行い、その結果を内部メモリに記憶する。

【0134】以後、主制御装置20では、上記と同様に、照明領域を変更しつつ、計測用パターンPM<sub>3</sub>～PM<sub>n</sub>について空間像の計測及び投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を繰り返し行う。

【0135】これにより得られた各ベストフォーカス位置Z<sub>1</sub>、Z<sub>2</sub>、……、Z<sub>n</sub>に基づいて、所定の統計的処理を行うことにより、投影光学系PLの像面形状を算出する。

【0136】投影光学系PLの像面、すなわち、最良結像面は、光軸からの距離が異なる無数の点（すなわち、いわゆる像の高さが異なる無数の点）におけるベストフォーカス点の集合から成る面であるから、このような手法により、像面形状を容易にかつ正確に求めることができる。

【0137】以上により、前述したA. 投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出及び最良結像面（像面）の検出を行うことができる。

【0138】また、投影光学系PLの球面収差の検出は、次のようにして行うことができる。

【0139】すなわち、この球面収差の検出に際しては、例えば、図14に示されるようにパターン領域PA内のX軸方向のほぼ中央に、Y軸方向に所定距離隔てて2つの計測用パターンPM1、PM2が形成された計測用レチクルR2が用いられる。計測用パターンPM1は、前述した計測用パターンPMと同一寸法同一周期のL/Sパターンである。また、計測用パターンPM2は、計測用パターンと同一寸法のラインパターンが異なる周期（例えば、計測用パターンPM1の周期（マークピッチ）の1.5～2倍程度）でX軸方向に並んだL/Sパターンである。

【0140】まず、不図示のレチクルローダにより、レチクルステージRST上にレチクルR2がロードされる。次に、主制御装置20では、レチクルR2上の計測用パターンPM1が、投影光学系PLの光軸上にほぼ一致するように、レチクルステージRSTを移動する。次に、主制御装置20では、照明光ILが計測用パターンPM1部分のみに照射されるように可動レチクルブライ

ンド12を駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、主制御装置20では、照明光ILをレチクルR2に照射して、前述と同様にして、スリットスキャン方式により空間像計測器59を用いて計測用パターンPM1の空間像計測及び投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を行い、その結果を内部メモリに記憶する。

【0141】計測用パターンPM1を用いたベストフォーカス位置の検出が終了すると、主制御装置20では、照明光ILが計測用パターンPM2部分に照射されるようにレチクルステージRSTを-Y方向に所定距離移動する。この状態で、上記と同様に、スリットスキャン方式で計測用パターンPM2の空間像計測及び投影光学系PLのベストフォーカス位置の検出を行い、その結果を内部メモリに記憶する。

【0142】これにより得られた各ベストフォーカス位置Z<sub>1</sub>とZ<sub>2</sub>との差に基づいて、投影光学系PLの球面収差を演算により算出する。

【0143】球面収差は、光学系の開口収差の1つであり、光軸上の物点からの種々の開口を持った光線束が光学系に入射したとき、その対応した像点が1点に結像しない現象である。従って、投影光学系の光軸におけるベストフォーカス位置の検出を、異なるピッチの複数のL/Sパターンについて繰り返し行い、各パターンに対応するベストフォーカス位置の差に基づいて演算により球面収差を簡単に求めることができる。なお、この場合のベストフォーカス位置の差の測定精度は30<20nm程度であることが実用上は必要である。

【0144】〈パターン像の結像位置の検出〉パターン像の結像位置の検出は、C. 投影光学系の倍率及びディストーション測定、D. 投影光学系のコマ収差測定、E. 照明テレセン測定のそれぞれで行われる。

【0145】計測用パターン（計測対象となるマーク）は目的によって様々である。分類すると次の表2のようになる。ここで、空間像計測に基づく、投影光学系の結像特性の計測結果は、前述した焼き付け法による結像特性の計測結果と基本的に一致することが望ましいので、表2では、焼き付け計測用マークとともに空間像計測用マーク（空間像計測用パターン）が示されている。

【0146】

【表2】

目的	焼き付け測定用マーク	空間像計測用マーク
C投影レンズ倍率・ディストーション測定	Box in Box Mark、大L/Sマーク	Box in Box Mark、大L/Sマーク
D投影レンズコマ収差測定	Line in Box Mark、L/Sマーク	Line in Box Mark、L/Sマーク、大小L/Sマーク
E照明テレセン測定	Box in Box Mark、大L/Sマーク	Box in Box Mark、大L/Sマーク

【0147】次に、投影光学系PLの倍率及びディストーション測定について説明する。この投影光学系PLの倍率及びディストーション測定に際しては、例えば、図

15に示されるように、パターン領域PAの中心部及び4角の部分に、合計5個の150μm角（投影倍率1/5でウエハ面上では30μm角）の正方形マークから成

る計測用パターン $BM_1 \sim BM_5$ が形成された計測用レチクル $R_3$ が用いられる。また、この場合、空間像計測器59を構成するスリット板90上には、図16に示されるような、X軸方向に伸びる所定幅 $W$ 、長さ $L$ のスリット22aと、Y軸方向に伸びる所定幅 $W$ 、長さ $L$ のスリット22bとが形成されているとともに、ウエハステージ $WST$ の内部の受光光学系及び光センサ24（又は図3の光導出部及び受光部）によりスリット22a、22bのいずれを透過した光をも受光が可能になっているものとする。ここで、 $W$ は例えば $0.3\mu m$ であり、 $L$ は例えば $25\mu m$ である。

【0148】まず、不図示のレチクルロードにより、レチクルステージ $RST$ 上にレチクル $R_3$ がロードされる。次に、主制御装置20では、レチクル $R_3$ の中央に存在する計測用パターン $BM_1$ の中心が、投影光学系 $PL$ の光軸上にほぼ一致するように、レチクルステージ $RST$ を移動する。次に、主制御装置20では、照明光 $IL$ が計測用パターン $BM_1$ を含む計測用パターン $BM_1$ より一回り大きい矩形領域部分のみに照射されるように可動レチクルブラインド12を駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、主制御装置20では、照明光 $IL$ をレチクル $R_3$ に照射する。これにより、図16に示されるように、計測用パターン $BM_1$ の空間像 $BM_1'$ 、すなわちほぼ $30\mu$ 角の正形状のパターン像が形成される。

【0149】この状態で、主制御装置20では、図16に矢印Aで示されるように、ウエハステージ $WST$ をX軸方向に走査しながら空間像計測器59を用いて計測用パターン $PM_1$ の空間像計測を行い、その計測により得られた光強度信号 $m(x)$ をメモリに記憶する。次に、主制御装置20では、得られた光強度信号 $m(x)$ に基づき、例えば公知の位相検出の手法により、計測用パターン $PM_1$ の結像位置を求める。ここで、この位相検出の手法としては、例えば、光強度信号 $m(x)$ をフーリエ変換して得られる1次周波数成分（これは、正弦波とみなせる）とこれと同一周波数の基準となる正弦波との積の例えば1周期分の和を求めるとともに、前記1次周波数成分とこれと同一周期の基準となる余弦波との積の例えば1周期分の和を求める。そして、得られた和同士を除算して得られた商の逆正接（アークタンジェント）を求めることにより、1次周波数成分の基準信号に対する位相差を求め、この位相差に基づいて計測用パターン $PM_1$ のX位置 $x_1$ を求めるという一般的な方法を用いることができる。

【0150】次に、主制御装置20では、ウエハステージ $WST$ をY軸方向に走査しながら空間像計測器59を用いて計測用パターン $PM_1$ の空間像計測を行い、その計測により得られた光強度信号 $m(y)$ をメモリに記憶する。そして、上記と同様の位相検出の手法により、計測用パターン $PM_1$ のY位置 $y_1$ を求める。そして、主制

御装置20では、得られた計測用パターン $PM_1$ の座標値 $(x_1, y_1)$ に基づいて、レチクル $R_3$ の光軸中心に対する位置ずれを補正する。

【0151】上記のレチクル $R_3$ の位置ずれの補正が終了すると、主制御装置20では、照明光 $IL$ が計測用パターン $BM_2$ を含む計測用パターン $BM_2$ より一回り大きい矩形領域部分のみに照射されるように可動レチクルブラインド12を駆動制御して照明領域を規定する。この状態で、上記と同様に、スリットスキャン方式で計測用パターン $BM_2$ の空間像計測及びそのXY位置の計測を行い、その結果を内部メモリに記憶する。

【0152】以後、主制御装置20では、上記と同様に、照明領域を変更しつつ、計測用パターン $BM_3 \sim BM_5$ について空間像の計測及びXY位置の計測を繰り返す。

【0153】これにより得られた計測用パターン $BM_2 \sim BM_5$ の座標値 $(x_2, y_2)$ 、 $(x_3, y_3)$ 、 $(x_4, y_4)$ 、 $(x_5, y_5)$ に基づいて、所定の演算を行うことにより、投影光学系 $PL$ の倍率及びディストーションの少なくとも一方を算出する。

【0154】ディストーションとは、イメージフィールド内の周辺で本来直線になるべきものが曲った像になる投影光学系 $PL$ の収差であり、このディストーションにより倍率誤差がある場合と同様にパターン像が像面上の所定の位置からずれて（横ずれして）結像される。

【0155】従って、上述した倍率及びディストーションの計測方法によると、投影光学系 $PL$ のイメージフィールド内の異なる位置に投影される各計測用パターンの空間像の位置ずれを、位相検出の手法により、それぞれ精度良く求めることができるので、結果的にディストーション及び倍率の少なくとも一方を精度良く計測することができる。

【0156】但し、単一の $30\mu m$ 角のパターン像 $BM_n'$ （ $n=1, 2, \dots, 5$ ）をスリットスキャンしてもその像のエッジは2箇所しかなく、計測精度が十分得られない場合もある。このような場合は、コマ収差の影響を受けることが殆ど無い程度の大きな $L/S$ パターン、例えば $5\mu m$ 以上のライン幅の $L/S$ パターン（この空間像は、ライン幅 $1\mu m$ の $L/S$ パターン像となる）から成る計測用パターン（便宜上「 $CM_1 \sim CM_5$ 」と呼ぶ）が、計測用パターン $BM_1 \sim BM_5$ に代えて形成されたレチクルを用いれば良い。図17には、このようなレチクルを用いて空間像計測を行う際に、スリット板90上にその計測用パターン $CM_1 \sim CM_5$ の空間像 $CM_n'$ （ $n=1, 2, \dots, 5$ ）が形成された状態が示されている。

【0157】なお、上では、位相検出の手法により、計測用パターンの空間像の位置ずれを計測するものとしたが、これに限らず、前述と同様に、スリットスキャン方式の空間像計測を投影光学系 $PL$ のイメージフィールド

内の異なる位置に投影される計測用パターン（ $BM_n$ 又は $CM_n$ ）の空間像（ $BM_n'$ 又は $CM_n'$ ）について繰り返し行い、その繰り返しにより得られた複数の光強度信号 $m(x)$ （光電変換信号）それぞれと所定のスライスレベルとの交点に基づいて各光電変換信号に対応する空間像（ $BM_n'$ 又は $CM_n'$ ）の位置（エッジの位置）をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて投影光学系PLのディストーション及び倍率の少なくとも一方を求め、かかる場合には、スライス法を用いたエッジ検出の手法により、投影光学系PLのイメージフィールド内の異なる位置に投影される空間像（ $BM_n'$ 又は $CM_n'$ ）の位置をそれぞれ精度良く求めることができ、結果的にディストーション及び倍率の少なくとも一方を精度良く計測することができる。この場合、設定されたスライスレベルで各光強度信号が2値化され、そのスライスレベルの設定が適切な場合には、例えば図7の波形P2とP3との関係から想像できるように、焼き付けにより実際に得られるレジスト像のエッジ位置を計測するのと等価となる。

【0158】ところで、現状の露光装置では、投影光学系のディストーション（倍率を含む）の管理は、基準ウエハを用いて次のようにして行われている。ここで、基準ウエハとは、投影光学系による露光領域内に $30\mu m$ 角のアウトバーBOXマークを転写した後、現像工程を経てエッチングを行い、そのエッチング後にアウトバーBOXマークのエッジの位置を光波干渉式座標測定器などで予め計測しておいたものである。そして、露光装置のディストーション計測時にはエッチングされた $30\mu m$ 角のアウトバーBOXマークの中心に、 $10\mu m$ 角のインナーBOXマークのレジスト像を焼き付け、相対位置をレジストレーション測定器などで計測する。

【0159】従って、ウエハ上（像面上）で $10\mu m$ 角のBOXマークの空間像をエッジ検出の手法により検出することにより、ディストーション計測を行えば、コマ収差の影響が基準ウエハを用いた上記のディストーション計測時と同等になり、相対的な差が発生しない。このため、上記の基準ウエハを用いたディストーション計測と同等な精度（accuracy）でディストーションを空間像から計測できるようになる。

【0160】これを実現するために、前述したデバイスレチクルやレチクルフィデューシャルマーク板に $50\mu m$ 角（ウエハ上 $10\mu m$ 角）のインナーBOXマークを形成することが考えられる。しかるに、最近のCMPプロセスでは、ウエハ上 $10\mu m$ 角のマークはディッシングが生じるために入れられない。

【0161】そこで、発明者は、鋭意検討した結果、ウエハ上 $10\mu m$ 角のBOXマークの非計測方向（ $10\mu m$ である必要はない）をストライプ状に細分化したマーク（以下、適宜「擬似BOXマーク」と呼ぶ）を用いて、空間像計測を行えば良いとの結論に達した。その理

由は、擬似BOXマークは、いわゆるL/Sパターンの一種であり、その周期方向に垂直な方向に空間像計測器をスキャンして、スリットスキャン方式により空間像計測を行えば、得られる信号波形は、BOXマークの空間像から得られる信号波形と同様の信号波形が得られるからである。

【0162】発明者は、図15に示される計測用レチクルR3の計測用パターン $BM_1 \sim BM_5$ に代えて、計測用パターンをX方向に関してストライプ状に細分化した擬似ボックスパターンを形成した計測用レチクルR3'を用いて、前述と同様の手順でエッジ検出の手法による投影光学系PLのディストーション計測を行った結果、各計測用パターンのY位置として、計測用パターン $BM_n$ のY位置と同等の値となることが確認された。これより、Y方向に関して細分化された擬似ボックスパターンと、X方向に関して細分化された擬似ボックスパターンとが形成された計測用レチクルなどを用意し、それぞれの計測用パターンをスリット22a、22bで相対走査することにより、ディストーション計測を行うことができる。

【0163】図18には、上述したY方向に関して細分化された擬似ボックスパターンと、X方向に関して細分化された擬似ボックスパターンその他の計測用パターンが形成されたマークブロック（ $300\mu m$ 角）の一例が示されている。この図18において、符号MM1、MM2は、例えば5本の $5\mu m$ L/Sマークから成る倍率計測パターンであり、符号MM3、MM4は、例えば29本の $1\mu m$ L/Sマークから成るフォーカス計測パターンであり、符号MM5、MM6は、例えば11本の $2.5\mu m$ L/Sマークから成る擬似ボックスパターンである。この図18のマークブロックは、例えばデバイスレチクルやレチクルフィデューシャルマーク板に形成される。なお、擬似ボックスパターンの細分化は、例えば $2.5\mu m$ L/S程度（ウエハ上 $0.5\mu m$ L/S程度）以下が望ましい。

【0164】次に、投影光学系のコマ収差の計測方法について説明する。コマ収差の計測は、L/Sマークを計測用パターンとして用いる第1の方法と、Line in Boxマークを計測用パターンとして用いる第2の方法とが代表的に挙げられる。

【0165】（第1の方法）焼き付け法により、コマ収差を測定する場合に、解像限界付近の小L/Sマーク像の線幅異常値を用いる方法が知られている。ここで、線幅異常値とは、焼き付けによって形成されるレジスト像の非対称の度合いを表す指標となる値である。例えば、図19に示される $0.2\mu m$ L/Sマーク（設計値）のレジスト像を例にとりて説明すると、線幅異常値Aは、両端のラインパターンの線幅L1、L5を用いて、次の（4）式のように定義される。

【0166】

【数3】

$$A = \frac{L1 - L5}{L1 + L5} \quad \dots(4)$$

【0167】Aは通常3%未満が投影光学系（投影レンズ）に望まれる性能である。

【0168】空間像計測においてもこのようなL/Sパターン像の線幅異常値を直接計測することが出来る。この場合は、先に説明したスライス法によるエッジ検出の手法を用いれば良いが、スライスレベルの決定に当たって、空間像に対応する光強度信号を適当な閾値（スレッシュホールドレベル）で2値化し、レジスト像の線幅に近づけるという簡単なレジスト像シミュレーションを行うことにより、その閾値をスライスレベルとして決定することが望ましい。

【0169】以下、この線幅異常値の計測によるコマ収差の計測方法について説明する。このコマ収差の計測には、例えば図20に示されるように、パターン領域PAの中心と4角の部分の合計5箇所計測用パターンDM<sub>1</sub>～DM<sub>5</sub>が形成された計測用レチクルR4が用いられる。計測用パターンDM<sub>1</sub>～DM<sub>5</sub>としては、ライン幅1μm（ウエハ面上で0.2μm）でデューティ比50%のX軸方向に周期性を有するL/Sパターンが用いられる。また、この場合、空間像計測器59を構成するスリット板90及び空間像計測器59の構成等は、前述した倍率・ディストーション計測の際と同じ構成となっている。

【0170】この場合、主制御装置20では、前述した倍率・ディストーション計測の際と同様の手順で、レチクルアライメント、及び空間像計測を行って、計測用パターンDM<sub>2</sub>～DM<sub>5</sub>の空間像（DM<sub>2</sub>'～DM<sub>5</sub>'とする）に対応する光強度信号m(x)を得る。

【0171】そして、この得られた各光強度信号m(x)と所定のスライスレベルとの交点をそれぞれ求め、その求められた交点のX座標から空間像DM<sub>2</sub>'～DM<sub>5</sub>'のそれぞれについて各ラインのライン幅を求め、このライン幅に基づいてそれぞれの線幅異常値を(4)式に基づいて算出し、この算出結果に基づいて投影光学系PLのコマ収差を求める。

【0172】コマ収差は、レンズの種々の輪帯で倍率が異なることによるレンズの収差であり、投影光学系PLのイメージフィールド内の主軸から離れた部分に生じる。従って、光軸から離れた位置では、L/Sパターンの空間像の内、各ラインパターンの線幅はコマ収差に応じて異なることになる。従って、スライス法を用いてエッジ検出の手法により各ラインパターンの線幅異常値を検出する上記方法によると、コマ収差を精度良く、かつ容易に計測することが可能となる。

【0173】なお、各計測用パターンDM<sub>1</sub>～DM<sub>5</sub>が5本のラインパターンを含む単独のL/Sパターンであるため、線幅異常値の計測精度が不十分である場合には、

各計測用パターンとして、5本のL/Sパターンが所定周期で複数組み配置された複合マークパターンを、各計測用パターンとして用いても良い。図21には、このような複合マークパターンが計測用パターン（EMと呼ぶ）として用いられる場合に、スリット板90上に計測用パターンEMの空間像EM'が形成された様子が示されている。

【0174】この空間像EM'は、図22に示されるように、2つの基本的な周波数成分、すなわち光電変換信号の各ラインパターンのピッチに対応する0.4μmピッチの周波数成分（第1基本周波数成分）f<sub>1</sub>と、各L/Sパターンの全体の幅に対応する第2基本周波数成分、すなわち、ここでは、各L/Sパターンの繰り返し周期（5本のマークからなるマークグループの配置ピッチ）である3.6μmピッチに対応する周波数成分f<sub>2</sub>とを有する。

【0175】従って、前述と同様に、主制御装置20では、前述した倍率・ディストーション計測の際と同様の手順で、レチクルアライメント、及び空間像計測を行って、計測用パターンEM<sub>2</sub>～EM<sub>5</sub>の空間像（EM<sub>2</sub>'～EM<sub>5</sub>'とする）に対応する光強度信号m(x)を得た場合に、各光強度信号の第1基本周波数成分と、第2基本周波数成分との位相差を前述した位相検出の手法により算出し、該算出結果に基づいて投影光学系PLのコマ収差を求めることとしても良い。

【0176】空間像計測の対象となるパターンの走査方向の幅が狭いほど、コマ収差の影響を大きく受けるので、L/Sパターンの各ラインパターンの空間像に対するコマ収差の影響と、L/Sパターンの全体を1つのパターンと見た場合のそのパターンの空間像に対するコマ収差の影響とは相違する。従って、光電変換信号の各ラインパターンのピッチに対応する第1基本周波数成分と、L/Sパターンの全体の幅に対応する第2基本周波数成分との位相差を算出し、該算出結果に基づいて投影光学系PLのコマ収差を求める上記方法によると、位相検出の手法により、投影光学系PLのコマ収差を精度良く求めることができる。なお、この場合マークの配置ピッチ（上の例では0.4μm）と5本のマークからなるマークグループの配置ピッチ（上の例では3.6μm）の比率は整数倍とすることが信号処理上からは望ましい。

【0177】（第2の方法）次に、コマ収差の第2の測定方法について説明する。この方法では、図23（A）に示されるように、パターン領域PA内の中心及び4角の部分の合計5箇所計測用パターンFM<sub>1</sub>～FM<sub>5</sub>が形成された計測用レチクルR5が用いられる。計測用パターンFM<sub>n</sub>（n=1、2、……、5）としては、図23（B）に拡大して示されるようなLine in Box Markと呼ばれるマークパターンが用いられる。このマークパターンは、図23（B）に示されるように、1辺がD1（例えばD1=150μm）の正方形パターンの内部に、同

心でかつ1辺がD2（例えばD2=100 $\mu$ m）の正方形のスペースパターン（幅D3）が形成されたマークパターンである。この計測用パターンF<sub>Mn</sub>をウエハ上に焼き付け、現像すると、30 $\mu$ m角のレジスト残しマークの中心に20 $\mu$ m角の細溝が同時に形成される。細溝は（波長/N・A・）/2以下程度の太さとしてすることが望ましく、従ってD3は、その5倍以下程度とすることが望ましい。例えば、D3は、0.5 $\mu$ mとされる。

【0178】このマーク計測用パターンF<sub>Mn</sub>を、コマ収差のある投影光学系で結像すると細線の方が太線よりも横ずれが大きく発生するため、細溝が偏心して対称性が崩れる。従って、その細溝の偏心量、すなわち対称性の崩れかたの程度を計測することにより、コマ収差の影響を知ることができる。

【0179】また、この場合、空間像計測器59を構成するスリット板90及び空間像計測器59の構成等は、前述した倍率・ディストーション計測の際と同じ構成となっている。

【0180】そこで、主制御装置20では、前述した倍率・ディストーション計測の際と同様の手順で、レチクルアライメント、及び空間像計測を行って、計測用パターンF<sub>M2</sub>~F<sub>M5</sub>の空間像（F<sub>M2</sub>'~F<sub>M5</sub>'とする）に対応する光強度信号m（x）を得る。

【0181】そして、各光強度信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて計測用パターンの空間像F<sub>M2</sub>'~F<sub>M5</sub>'の対称性のずれを算出し、該算出結果に基づいて投影光学系PLのコマ収差を求める。

【0182】このようにスライス法を用いたエッジ検出手法により、計測用パターンF<sub>M2</sub>~F<sub>M5</sub>の空間像の対称性のずれを算出し、その算出結果に基づいて投影光学系PLのコマ収差を求める上記方法によると、投影光学系PLのコマ収差を精度良く求めることができる。

【0183】上記の場合において、スリット板90上のスリット22a、22bの配置上、非計測方向のスリットが空間像と干渉する場合も考えられる。このような場合、上記計測用マークF<sub>Mn</sub>に代えて、例えば線幅50 $\mu$ m程度の太いラインパターンと、例えば線幅0.5~0.75 $\mu$ m程度の細いラインパターンが計測方向に所定間隔（例えば、50 $\mu$ m程度）で並んだ左右対称の1次元マークを計測用パターンとして用いても良い。

【0184】図24には、このような計測用パターン（G<sub>Mn</sub>とする）の空間像G<sub>Mn</sub>'がスリット板90上に形成された状態が示されている。この図24において、D4は10 $\mu$ m、D5は0.1~0.15 $\mu$ mである。このような空間像G<sub>Mn</sub>'に対応する光強度信号を、前述したスライス法によるエッジ検出の方法により検出することにより、投影光学系PLのコマ収差を検出しても良い。

【0185】走査方向（計測方向）の幅が細いラインパターンの空間像ほどコマ収差の影響により大きく位置ず

れる結果、計測用パターン（G<sub>Mn</sub>）のように、走査方向に対応する方向に所定間隔で配置された線幅の異なる複数種類のラインパターンを有する対称マークパターンの空間像は、コマ収差が大きいほどその対称性が大きくずれる。

【0186】そのため、上記の空間像G<sub>Mn</sub>'の対称性のずれを検出する方法によると、投影光学系PLのコマ収差を精度良く検出することができる。

【0187】勿論、この場合も、計測再現性を向上するため、図25のような繰り返し配置された計測用パターンの空間像H<sub>M</sub>'を検出することとしても良い。

【0188】次に、照明テレセンの測定方法について説明する。

【0189】照明テレセンは像位置がデフォーカスによって変化する量を測定して決定する。計測用パターンとしては、倍率、ディストーション測定と同様にコマ収差の影響を受けない大きなマークパターンが用いられる。焼き付けによる場合は、Box in Box Markあるいは大L/Sマークが用いられ、ベストフォーカス位置、+1 $\mu$ m程度のデフォーカス位置、-1 $\mu$ m程度のデフォーカス位置の3点で、それぞれ露光を行い、像位置とフォーカス位置の関係を計測し、照明テレセン（=（像の横ずれ量/デフォーカス量））を計算することが行われる。

【0190】空間像計測の場合は、焼き付けと同様にコマ収差の影響を受けない大きなマークを用い、空間像の絶対位置を各フォーカス位置で計測し、照明テレセンを計算する。

【0191】以上詳細に説明したように、本第1の実施形態の露光装置100によると、スリット幅2D=n・（ $\lambda$ /N・A・）、n $\leq$ 0.8であるスリット板90を有する空間像計測器59を備えていることから、この空間像計測器を用いてレチクルあるいはレチクルフィデュールマーク板上の計測用パターンの空間像計測を行うことにより、空間像→空間像強度信号の変換の際に像プロファイルの劣化の少ない高精度な空間像計測が可能となる。この場合、光センサ24（光電変換素子）以降の信号処理系には大きなダイナミック・レンジが不要となる。

【0192】また、露光装置100では、主制御装置20が、空間像計測器59を用いて前述のスリットスキャン方式による空間像の計測、及びこの計測結果を用いての前述したような投影光学系PLの種々の結像特性の計測を、高精度に行うことができる。そのため、この結像特性の計測結果に基づいて、例えば工場内における露光装置の立ち上げ時等に投影光学系PLの光学性能の調整を高精度に行うことができる。あるいは、特にディストーションや倍率等については、定期的な上記の計測を行い、この計測結果に基づいて投影光学系PLの不図示の結像特性補正装置（例えば、投影光学系を構成する特定のレンズエレメントをZ・チルト駆動する装置、あるい

は投影光学系を構成する特定のレンズ間に設けられた気密室の内圧を調整する装置など)を用いて、ディストーションや倍率(特に走査露光時の非走査方向)等を補正することができる。なお、走査露光時の走査方向の倍率の補正は、例えば、走査露光時のレチクルとウエハの少なくとも一方の走査速度を調整することにより行われる。

【0193】このように、露光装置100では、例えば投影光学系の結像特性の初期調整、あるいは、露光開始に先立って投影光学系の結像特性の調整により、高精度に結像特性が調整された投影光学系PLを用いて、露光が行われるので、結果的に露光精度の向上が可能となる。

【0194】また、露光装置100では、主制御装置20により、空間像計測器59を用いて、マーク検出系としてのアライメント顕微鏡ALG1のベースライン量の検出が精度良く行われるので、そのベースライン量を用いて、露光時等にウエハWの位置を制御することにより、レチクルとウエハとの重ね合せ精度の向上が可能であり、この点においても露光精度の向上が可能となっている。

【0195】なお、上記実施形態では、スリット幅2Dが、照明光の波長 $\lambda$ と投影光学系PLの開口数N、A.との両者を考慮して決定されている場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。

【0196】すなわち、スリット幅2Dを、波長 $\lambda$ 、開口数N、A.のいずれか一方のみを考慮して定めても良い。このようなスリット幅2Dのスリットを有するスリット板を備えた空間像計測器を用いても、上記実施形態と同様に、スリットスキャン方式により、所定パターンの空間像(像強度の分布)の精度の高い計測が可能である。

【0197】次に、スリット幅(2D)の決定に関して更に説明する。ここでは、一例として、フォーカス計測の場合を採り上げて好適なスリット幅の決定方法に関して説明する。

$$N \propto S^{1/2} \cdot \text{DOF} \propto \lambda \cdot S^{1/2} / (N \cdot A.)^2 \quad \dots\dots (5)$$

の関係がある。ここで、N・A.は、投影光学系の開口数である。

$$S/N \propto (N \cdot A.)^2 \cdot S^{1/2} / \lambda \propto \lambda \cdot S^{1/2} / P \quad \dots\dots (6)$$

の関係が成り立つ。ここで、 $S/N$ は、一次成分の振幅とノイズ振幅との比である $S/N$ 比である。

【0204】(2) ダーク・ノイズが支配的な場合  
ダーク・ノイズは1次成分の振幅Sに依存しない。1次

$$N \propto \text{DOF} \propto \lambda / (N \cdot A.)^2 \quad \dots\dots (7)$$

の関係がある。

$$S/N \propto (NA)^2 \cdot S / \lambda \propto \lambda \cdot S / P \quad \dots\dots (8)$$

の関係がある。

【0206】(6)、(8)式よりスリット幅(2D)を最適にする際には、波長と対象パターン・ピッチが決

【0198】前述の如く、投影光学系のベストフォーカス位置の計測は、スリット板90のZ軸方向(光軸方向)の位置を変化させつつ、計測用パターンの空間像計測をスリットスキャン方式により複数回繰り返し、これにより得られた光強度信号の(1次/0次)の振幅比であるコントラストが最大となるスリット板90のZ位置(コントラストピークのZ座標)を検出することにより求める。

【0199】通常、ベストフォーカスの検出に際しては、スリット板90を、0.15 $\mu\text{m}$ のピッチ間隔で、15段階(ステップ)程度変化させる。

【0200】ここで、図26を用いて上記のベストフォーカス検出の一例について説明する。この図26は、スリット板90を13段階(ステップ)でZ軸方向に変化させ、各点で得られた13点のコントラストの計測値(図26中の×印)を横軸をZ軸として示すものである。図26中に×印で示される13点のコントラストの計測値に基づいて、4次程度の近似曲線Cを最小二乗法によって求める。この近似曲線Cと、適当な閾値(スレッシュホールドレベル)SLとの交点を求め、交点間の距離=2Bの中点をベストフォーカスに対応するZ座標値とする。

【0201】図27には、図26と同様の線図が示されている。但し、この図27では縦軸は、1次成分の振幅(又は後述するファースト・オーダー)を示す。ここで、図27におけるWZ(=ステップピッチ×データ数)の範囲を固定にした時のフォーカス検出精度を考える。

【0202】(1) ショットノイズが支配的な場合  
1次成分の振幅をSとすると、ショットノイズは $S^{1/2}$ に比例する。1次周波数成分(以下、適宜「1次成分」と略述する)の振幅のZに関する曲線の平均傾きは焦点深度(DOF)に反比例するので、各1次成分の振幅のノイズがデータのZ方向へ及ぼす揺らぎをノイズNとすれば、

【0203】しかるに、対象パターンの線幅をPとすると、 $P \propto \lambda / N \cdot A.$ の関係があるので、

成分の振幅のZに関する曲線の平均傾きはDOFに反比例するので、各1次成分の振幅のノイズがデータのZ方向へ及ぼす揺らぎをノイズNとすれば、

【0205】従って、対象パターンの線幅をPとして、

定していれば、1次成分の振幅Sのみに着目すれば良く、 $S/N$ 比は、ノイズの性質によって1次振幅Sの0.5~1乗に比例することがわかる。

【0207】図28(A)～図31(B)には、スリット幅(2D)の好ましい範囲を求めるためのシミュレーション結果の一例が示されている。このうち、図28(A)、図29(A)、図30(A)及び図31(A)は、 $N.A. = 0.68$ 、 $\lambda = 248\text{nm}$ 、 $\sigma = 0.85$ の条件の場合を示す。また、図28(B)、図29(B)、図30(B)及び図31(B)は、 $N.A. = 0.85$ 、 $\lambda = 193\text{nm}$ 、 $\sigma = 0.85$ の条件の場合を示す。

【0208】図28(A)、(B)は、フォトマルチプライヤを用いた例を想定して(6)式を適用した場合のフォーカス検出に関する $S/N$ 比を示す。図28(A)において、実線(●)、破線(■)、点線(▲)は、計測用パターンとして、ライン幅Lがそれぞれ200nm、220nm、250nmで、デューティ比がいずれも50%のL/Sパターンを用いた場合を、それぞれ示す。図28(B)において、実線(●)、破線(■)、点線(▲)は、計測用パターンとして、ライン幅Lがそれぞれ120nm、130nm、140nmで、デューティ比がいずれも50%のL/Sパターンを用いた場合を、それぞれ示す。

【0209】図29(A)、(B)は、図28(A)、(B)にそれぞれ対応するコントラストを示す。コントラストは、スリット幅が小さいほど大きくなる。0次の振幅はスリット幅に比例するので、コントラストに0。

$$m(x) = \int_{x-D}^{x+D} i(t) dt \quad \dots(9)$$

【0216】フォーカス検出は解像限界のL/Sの強度像の0次、1次の比(コントラスト)より計算する。空間像の強度像に含まれる0次成分の強度をa、1次成分の強度を $b \cdot \sin(\omega_1 \cdot x)$ とすれば、観測されるスリット透過強度 $m_0(x)$ 、 $m_1(x)$ は次の(10)、(11)式ようになる。但し、 $\omega_1$ は、解像限界の空間周波数である。

【0217】

【数5】

$$m_0(x) = a \int_{x-D}^{x+D} dt = 2aD \quad \dots(10)$$

$$\omega_1 D = \pi / 2 \cdot (2n - 1)$$

(但し、 $n = 1, 2, 3, \dots$ )

【0221】(12)式を満足するとき、 $D = \pi / (2\omega_1)$ の奇数倍のときに、1次成分のゲインが最大となる(コントラストが最大となる)ので、スリット幅2Dが $\pi / \omega_1$ の奇数倍となるとき、すなわち最小マークピッチの半分(以下、適宜「最小ハーフピッチ」と呼ぶ)の奇数倍であることが望ましい。

【0222】また、1次成分のゲインが高く、0次成分のゲインが低いほど電気系のダイナミックレンジは楽になるので、結局、(12)式で $n = 1$ の場合、すなわち

$3\mu\text{m}$ を基準としたスリット幅の比率を乗じたものがファースト・オーダー(1st Order)である。これは1次成分の振幅に比例する。

【0210】図30(A)、(B)には、図28(A)、(B)にそれぞれ対応するファースト・オーダーが、示されている。

【0211】図28(A)、(B)から、結果的にいずれの波長、線幅の場合でも、フォーカス検出に最適なスリット幅(2D)は、パターンピッチ(=2L)の半分と同じ長さが最適であることが判明した。ピッチに関しては小さい程良いが、勿論解像限界以内であることが必須である。従って、スリット幅の最適値は露光装置の解像限界ピッチの半分程度となる。

【0212】図31(A)、(B)は、図28(A)、(B)と同一条件で、(8)式を適用した場合のフォーカス検出に関する $S/N$ 比を示す。

【0213】ここで、スリット幅2Dの最適化について、更に別の観点から説明する。

【0214】空間像計測器のスリットの幅2D、空間像の強度分布を $i(x)$ とするとスリット透過強度 $m(x)$ は、前述した(1)式を一般化した次の(9)式で表される。

【0215】

【数4】

【0218】

【数6】

$$m_1(x) = b \int_{x-D}^{x+D} \sin(\omega_1 t) dt = \frac{2b}{\omega_1} \sin(\omega_1 x) \cdot \sin(\omega_1 D) \quad \dots(11)$$

【0219】(10)式より、0次成分はスリット幅に単純に比例し、(11)式より1次成分は、次の(12)式の条件を満足するときに最大になる。

【0220】

$$\dots\dots (12)$$

スリット幅2Dが $\pi / \omega_1$ の場合、換言すれば最小ハーフピッチと一致する場合が最良である。

【0223】図32(A)、(B)には、スリット幅2Dが最小ハーフピッチの1倍のとき、3倍のときの、シミュレーションデータが、それぞれ示されている。これらの図において、実線の曲線LL1はスリット透過光の強度信号を示し、一点鎖線LL2はその微分信号を示し、破線LL3は空間像強度を示す。これらの図において、横軸はスリット位置であり、縦軸は信号強度である。

【0224】図33(A)、(B)には、スリット幅2Dが最小ハーフピッチの5倍のとき、7倍のときの、シミュレーションデータが、それぞれ示されている。これらの図において、実線の曲線LL1はスリット透過光の強度信号を示し、一点鎖線LL2はその微分信号を示し、破線LL3は空間像強度を示す。これらの図において、横軸はスリット位置であり、縦軸は信号強度である。

【0225】図32(A)、(B)及び図33(A)、(B)において微分信号LL1の振幅は、同一振幅とな

10

$$p(u) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \cdot \exp(-2\pi i x u) dx = 2D \frac{\sin(2\pi u D)}{2\pi u D} = 2D \frac{\sin(\omega D)}{\omega D} \dots (13)$$

【0228】図34には、解像限界の空間周波数を $\omega_1$ として、スリット幅2Dが解像限界のハーフピッチの1、3、5倍の時の周波数特性が示されている。この図34において、符号GF5、GF3、GF1は、それぞれ、スリット幅が最小ハーフピッチの5倍、3倍、1倍

20

の場合の周波数特性線図を示す。この図34から明らかなように、ゲイン(利得)の安定性の面でも、スリット幅が最小ハーフピッチに一致する場合(GF1)が、最良であることがわかる。

【0229】《第2の実施形態》次に、本発明の第2の実施形態について図35及び図36に基づいて説明する。ここで、前述した第1の実施形態に係る露光装置100と同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるとともに、その説明を簡略化し若しくは省略するものとする。

【0230】図35には、この第2の実施形態に係る露光装置の構成が一部省略されて示されている。この露光装置110は、マーク検出系としてのアライメント光学系ALG2の構成のみが、露光装置100と相違する。そこで、以下においては、この相違点を中心として説明する。

【0231】このアライメント光学系ALG2は、図35に示されるように、投影光学系PLの側面に設けられたオフアクシス方式のレーザ・スキャン式アライメントセンサである。

【0232】このアライメント光学系ALG2は、図35に示されるように、アライメント用光源132、ハーフミラー134、第1対物レンズ136、第2対物レンズ138、シリコンフォトダイオード(SPD)140等を含んで構成されている。ここで、光源132としては、ヘリウム・ネオンレーザが用いられる。このアライメント顕微鏡ALG2では、図35に示されるように、光源132からレーザビームが、ハーフミラー134、第1対物レンズ136を介してウエハW上のアライメントマークMwを照明するためのレーザビームスポットを

50

ーフピッチ $\times n$ の $n$ が1、3、5、7と大きくなるに従って、信号処理系(光センサ以降の処理系)により大きなダイナミックレンジが必要となることがわかる。これより、スリット幅2Dが最小ハーフピッチに一致する場合が最良であることがわかる。

【0226】また、前述した(1)、(2)式をフーリエ変換すると、スリットによる平均化効果の周波数特性が判明する。

【0227】

【数7】

形成する。レーザビームは通常固定されており、ウエハステージWSTを走査(スキャン)することによってレーザビームとアライメントマークMwとを相対走査する。

【0233】アライメントマークMwから発生する散乱光は第1対物レンズ136、ハーフミラー134、及び第2対物レンズ138を介してシリコン・フォトダイオードSPD140上に集光されて受光される。顕微鏡ALG2には、0次光フィルタが挿入されており暗視野になっており、アライメントマークMwの存在する位置だけで散乱光が検出される。そして、SPD140が受光した光の光電変換信号がSPD140から主制御装置20に供給される。主制御装置20では、この光電変換信号と、そのときのウエハ干渉計31の出力であるウエハステージWSTの位置情報とに基づいて、干渉計光軸で規定されるステージ座標系におけるアライメントマークMwの座標位置を算出するようになっている。

【0234】このようなステージスキャン・タイプのレーザ・スキャン式アライメントセンサのベースラインの安定性は、レーザのビーム位置の安定性と干渉計の安定性、及びSPD～電気系のゲインの安定性によって決定する。

【0235】ここで、このアライメント顕微鏡ALG2のベースラインの計測について説明する。前提として、レチクルRがレチクルステージRST上に搭載されているものとする。

【0236】まず、主制御装置20では、前述と同様にして、レチクルR上に形成されたレチクルアライメントマークPMの投影像を、空間像計測器59を用いて計測し、レチクルパターン像の投影位置を求める。すなわち、レチクルアライメントを行う。

【0237】次に、主制御装置20では、ウエハステージWSTを移動して、図36に示されるように、レーザビームスポットに対して空間像計測器59のスリット22を走査し、レーザ光の透過光の強度信号と同時にウエ



ハ干渉計 31 の計測値を取り込み、レーザビームプロファイルを得、それに基づいてビームスポットの位置を求める。これにより、レチクル R のパターン像の投影位置とアライメント光学系 A L G 2 のレーザスポット照射位置との相対位置、すなわちアライメント顕微鏡 A L G 2 のベースライン量を求める。

【0238】以上説明した本第 2 の実施形態に係る露光装置 110 によると、前述した第 1 の実施形態の露光装置 100 と、同等の効果を得ることができる。また、この場合も、主制御装置 20 により空間像計測器 59 を用いて、アライメント顕微鏡 A L G 2 のベースライン量が検出されるが、このベースライン量の検出に当たり、レチクルパターン像の投影位置及びアライメント顕微鏡 A L G 2 の位置を、空間像計測器 59 により直接的に計測することができるので、精度の高いベースライン量の計測が可能である。

【0239】なお、空間像計測器 59 のスリット板 90 上のスリットの配置は、前述したものに限らず、例えば図 37 (A) に示されるように、前述したスリット 22 a、22 b の組みに加え、X 軸に対して 45°、135°を成す方向にそれぞれ伸びるスリット 22 c、22 d の組みを加えても良い。勿論、これらのスリット 22 c、22 d の長手方向に垂直な方向のスリット幅 2D は、スリット 22 a、22 b と同様の基準により同様の寸法に定められる。

【0240】この場合、図 37 (A) に示されるように、矢印 C 方向に空間像計測器 59 (ウエハステージ W S T) を走査しつつ、例えば図 37 (A) に示される空間像 P M' に対してスリット 22 d を走査することにより、その空間像に対応する光強度信号を精度良く検出することができる。また、図 37 (B) に示されるように、矢印 D 方向に空間像計測器 59 (ウエハステージ W S T) を走査しつつ、例えば図 37 (B) に示される空間像 P M' に対してスリット 22 c を走査することにより、その空間像に対応する光強度信号を精度良く検出することができる。

【0241】なお、上記の 2 組のスリット (22 a、22 b)、(22 c、22 d) をスリット板 90 上に設ける場合、それら各組のスリットがある程度離して配置されるため、ウエハステージ W S T 内部の受光光学系及び光センサの構成として、各組のスリットを光学系あるいは電気的な選択機構によって選択できる構成を採用しても良い。具体的には、シャッタで光路が切り替え可能な受光光学系と単一の光電変換素子とを組み合わせても良いし、受光光学系及び光電変換素子を各組のスリットに対してそれぞれ設けても良い。

【0242】次に、像回復について説明する。

【0243】前述した (1)、(2) 式より、スリットスキャンによる平均化は、空間周波数的には  $p(x)$  のフーリエ変換によりどのようなスペクトルかが判明す

る。これは一般に装置関数  $P(u)$  と呼ばれている。装置関数は前述した (13) 式で示される。

【0244】(13) 式の周波数特性の逆特性のフィルタ  $P_{inv}(u)$  は次の (14) 式で示され、これを観測される空間像の強度信号  $m(x)$  のフーリエスペクトルに乗じてから逆フーリエ変換を行えば像回復が行われる。

$$P_{inv}(u) = 1/P(u) \quad \dots (14)$$

インコヒーレント結像の光学的伝達関数 (OTF) の上限が  $2N.A./\lambda$  であるから完全な像回復のためには次の (15) 式を満たす必要がある。

【0245】

$$\text{【数 8】} \quad D < \frac{\lambda}{4N.A.} \quad \dots (15)$$

【0246】以上のような像回復の手法を用いれば、非常に細い孤立線の像プロファイルも回復できる。孤立線は様々な周波数成分を含んでおり、孤立線の空間像を複数のフォーカスで計測し、これらを用いてレンズの波面収差を計測することも考えられる。

【0247】また、繰り返しパターンである L/S マークを像回復することで、レンズの離散的な周波数成分の波面収差を測定することも考えられる。

【0248】これらの波面収差の測定に際しての空間像計測には、例えば図 37 (A) に示される 4 方向についての空間像の計測が可能な空間像計測器 59 を用いることが望ましい。

【0249】なお、上記各実施形態では、本発明がステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に適用された場合について説明したが、これに限らず、マスクと基板とを静止した状態でマスクのパターンを基板に転写するとともに、基板を順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート型の露光装置にも本発明は適用することができる。

【0250】また、上記各実施形態では、本発明が半導体製造用の露光装置に適用された場合について説明したが、これに限らず、例えば、角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを転写する液晶用の露光装置や、薄膜磁気ヘッドを製造するための露光装置などにも本発明は広く適用できる。

【0251】また、上記各実施形態では、露光用照明光として KrF エキシマレーザ光 (248 nm)、ArF エキシマレーザ光 (193 nm) などを用いる場合について説明したが、これに限らず、g 線 (436 nm)、i 線 (365 nm)、F<sub>2</sub> レーザ光 (157 nm)、銅蒸気レーザ、YAG レーザの高調波等を露光用照明光として用いることができる。

【0252】また、上記各実施形態では、投影光学系として縮小系を用いる場合について説明したが、これに限

らず、投影光学系として等倍あるいは拡大系を用いても良い。

【0253】また、ウエハステージやレチクルステージにリニアモータ（米国特許第5,623,853号又は米国特許第5,528,118号の公報参照）を用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力又はリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いても良い。

【0254】また、ステージは、ガイドに沿って移動するタイプでも良いし、ガイドを設けないガイドレスタイプでも良い。

【0255】ウエハステージの移動により発生する反力は、特開平8-166475号公報（米国特許第5,528,118号）に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしても良い。

【0256】レチクルステージの移動により発生する反力は、特開平8-330224号公報（米国特許出願シリアルナンバー416558号）に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしても良い。

【0257】複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系を露光装置本体に組み込み光学調整するとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより本実施形態の露光装置を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0258】半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、前述した実施形態の露光装置によりレチクルのパターンをウエハに転写するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

【0259】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る空間像計測方法及び空間像計測装置によれば、十分な精度で空間像を計測することができるという効果がある。

【0260】また、本発明に係る結像特性計測方法によれば、投影光学系の結像特性を精度良く計測することができるという従来にない優れた効果がある。

【0261】また、本発明に係る露光装置によれば、露光精度の向上を図ることができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係る露光装置100の概略的な構成を示す図である。

【図2】図1のアライメント顕微鏡及び空間像計測器の内部構成を示す図である。

【図3】光センサをウエハステージの外部に配置した空間像計測器の変形例を示す図である。

【図4】アライメント顕微鏡によりウエハ上のアライメントマークを検出している様子を示す図である。

【図5】アライメント顕微鏡のベースラインの計測に際して、アライメント顕微鏡により空間像計測器のスリットを検出している状態を示す図である。

【図6】図6（A）は、空間像の計測に際してスリット板上に空間像PM'が形成された状態の空間像計測器を示す平面図、図6（B）はその空間像計測の際に得られる光電変換信号（光強度信号）Pの一例を示す線図である。

【図7】ライン幅0.2μm、デューティ比50%のL/Sマークの空間像を計測した場合に対応する結像シミュレーションの結果を示す線図であって、ベストフォーカス位置でのシミュレーション結果を示す線図である。

【図8】図7の強度信号P3をフーリエ変換した際の空間周波数成分を、元の強度信号P3とともに示す線図である。

【図9】ベストフォーカス位置から0.2μmデフォーカスした場合のシミュレーション結果を示す線図である。

【図10】図9の強度信号P3をフーリエ変換した際の空間周波数成分を、元の強度信号P3とともに示す線図である。

【図11】ベストフォーカス位置から0.3μmデフォーカスした場合のシミュレーション結果を示す線図である。

【図12】図11の強度信号P3をフーリエ変換した際の空間周波数成分を、元の強度信号P3とともに示す線図である。

【図13】像面形状の検出に際して用いられる計測用レチクルの一例を示す平面図である。

【図14】球面収差の検出に際して用いられる計測用レチクルの一例を示す平面図である。

【図15】倍率及びディストーション測定に際して用いられる計測用レチクルの一例を示す平面図である。

【図16】倍率及びディストーション測定に際して用いられる空間像計測器59を示す平面図である。

【図17】大きなL/Sパターンから成る計測用パターンが形成されたレチクルを用いて空間像計測を行う際に、スリット板上にその計測用パターンの空間像CM'が形成された状態の空間像計測器を示す平面図である。

【図18】擬似ボックスパターンその他の計測用パターンが形成されたマークブロックの一例を示す図である。

【図19】コマ収差の第1の計測方法を説明するための図であって、レジスト像の一例を示す図である。

【図20】コマ収差の第1の計測方法に用いられる計測用レチクルの一例を示す平面図である。

【図 2 1】5本のL/Sパターンが所定周期で複数組み配置された複合マークパターンを、各計測用パターンとして用いた場合にその空間像E M' がスリット板上に形成されたときの空間像計測器を示す平面図である。

【図 2 2】図 2 1 に示される空間像E M' が、2つの基本的な周波数成分を有することを説明するための図である。

【図 2 3】図 2 3 (A) はコマ収差の第2の計測方法に用いられる計測用レチクルの一例を示す平面図、図 2 3 (B) は図 2 3 (A) の各計測用パターンを拡大して示す図である。

【図 2 4】線幅の太いラインパターンと線幅の細いラインパターンが計測方向に所定間隔で並んだ左右対称の1次元マークから成る計測用パターンの空間像G M<sub>n</sub>' がスリット板上に形成されたときの空間像計測器を示す平面図である。

【図 2 5】図 2 4 の場合の1次元マークが繰り返し配置された計測用パターンの空間像H M' がスリット板上に形成されたときの空間像計測器を示す平面図である。

【図 2 6】スリット板を13段階(ステップ)でZ軸方向に変化させ、各点で得られた13点のコントラストの計測値(×印)を横軸をZ軸として示す図である。

【図 2 7】スリット板を13段階(ステップ)でZ軸方向に変化させ、各点で得られた13点の1次成分の振幅の値(×印)を横軸をZ軸として示す図である。

【図 2 8】図 2 8 (A)、(B) は、それぞれ所定条件の下で、フォトマルチプライヤを用いた例を想定して(6)式を適用した場合の、フォーカス検出に関するS/N比を示すグラフである。

【図 2 9】図 2 9 (A)、(B) は、図 2 8 (A)、(B) にそれぞれ対応するコントラストを示すグラフである。

【図 3 0】図 3 0 (A)、(B) は、図 2 8 (A)、(B) にそれぞれ対応するファースト・オーダーを示すグラフである。

【図 3 1】図 3 1 (A)、(B) は、図 2 8 (A)、(B) と同一条件で、(8)式を適用した場合のフォーカス検出に関するS/N比を示すグラフである。

【図 3 2】図 3 2 (A)、(B) は、スリット幅が最小ハーフピッチの1倍のとき、3倍のときの、スリット透過光の強度信号、その微分信号及び空間像強度のシミュレーションデータを、それぞれ示す図である。

【図 3 3】図 3 3 (A)、(B) は、スリット幅が最小ハーフピッチの5倍のとき、7倍のときの、スリット透過光の強度信号、その微分信号及び空間像強度のシミュレーションデータを、それぞれ示す図である。

【図 3 4】スリット幅が解像限界のハーフピッチの1, 3, 5倍の時の周波数特性を示す図である。

【図 3 5】第2の実施形態に係る露光装置の構成を一部省略して示す図である。

【図 3 6】第2の実施形態の露光装置において、アライメント顕微鏡A L G 2のベースライン計測に際して、レーザービームスポットの位置を空間像計測器を用いて計測しているときの状態を示す図である。

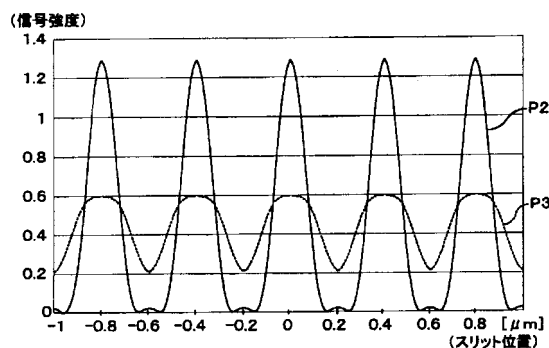
【図 3 7】空間像計測器のスリット板上のスリットの他の配置例、及びそのようなスリットが形成された空間像計測器の使用方を説明するための図である(図 3 7 (A)、(B)。)

【図 3 8】従来の空間像計測方法について説明するための図である(図 3 8 (A) ~ (C)。)

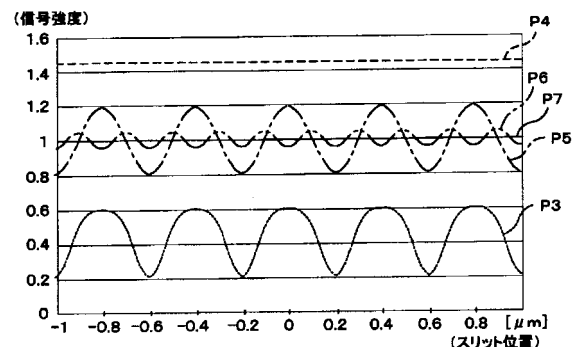
#### 【符号の説明】

1 0…照明系(照明装置、空間像計測装置の一部)、2 0…主制御装置(制御装置、処理装置、空間像計測装置の一部)、2 2 a ~ 2 2 d…スリット(空間像計測装置の一部)、2 4…光センサ(光電変換素子、空間像計測装置の一部)、9 0…スリット板(空間像計測装置の一部)、1 0 0…露光装置、P L…投影光学系、I L…照明光、R…レチクル(マスク)、W…ウエハ(基板)、W S T…ウエハステージ(基板ステージ)、A L G 1, A L G 2…アライメント顕微鏡(マーク検出系)。

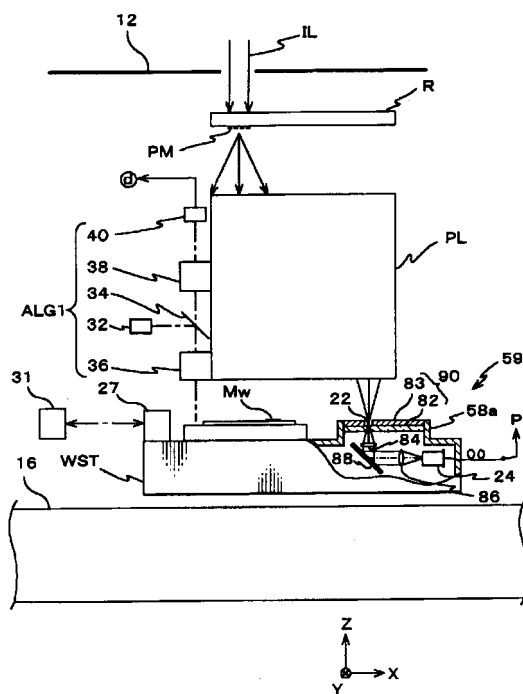
【図 7】



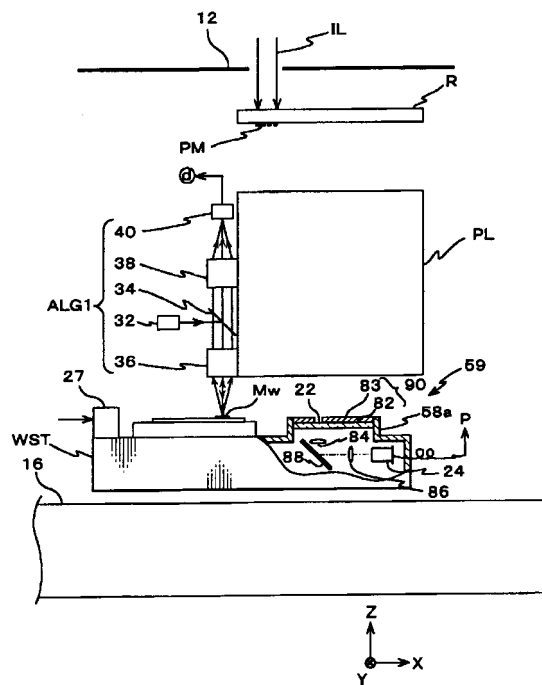
【図 8】



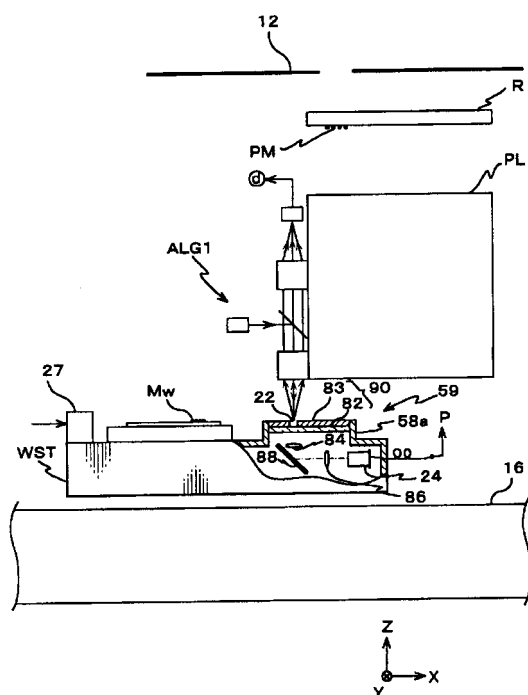
【図 2】



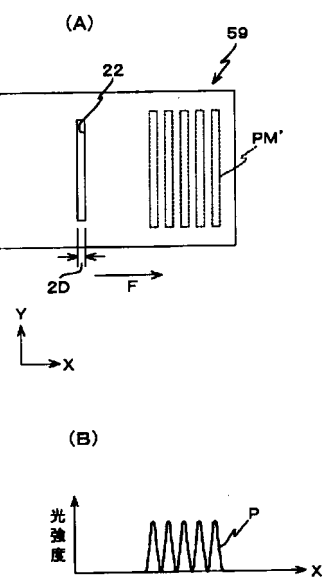
【図 4】



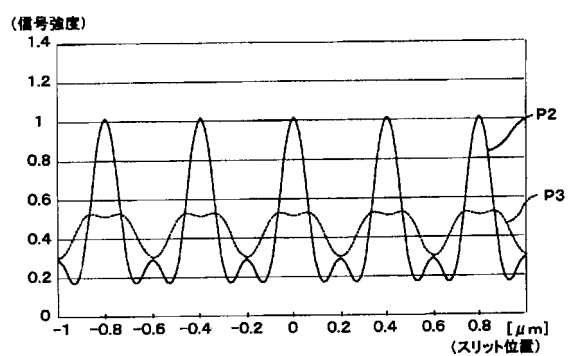
【図 5】



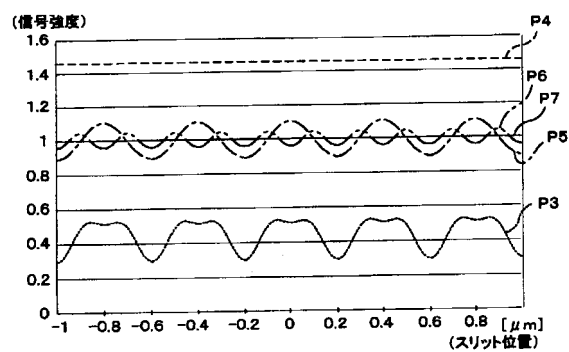
【图 6】



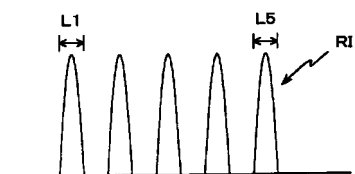
【图 9】



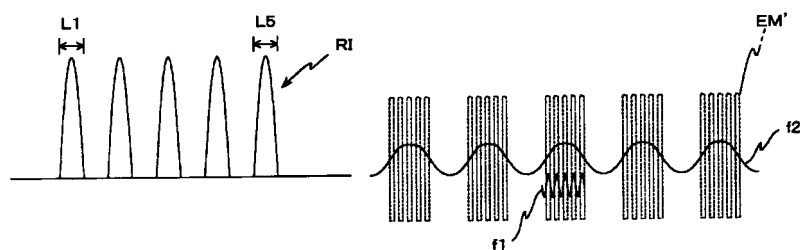
【図 10】



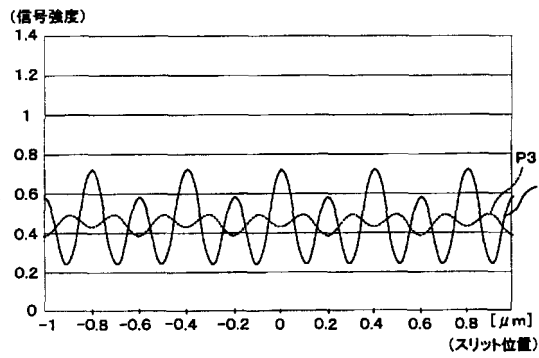
【图 19】



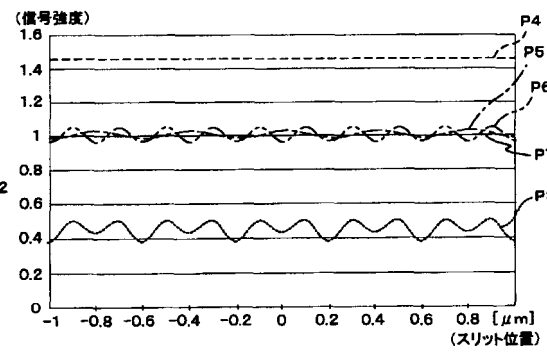
【图 2 2】



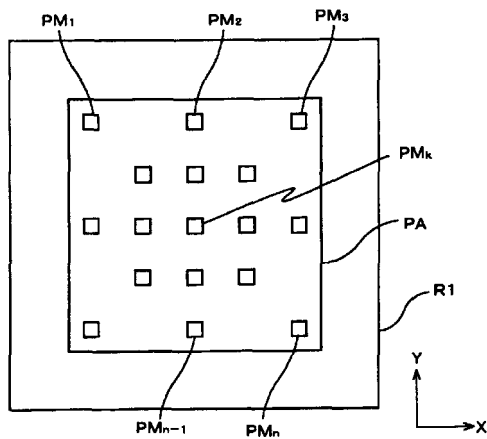
【図11】



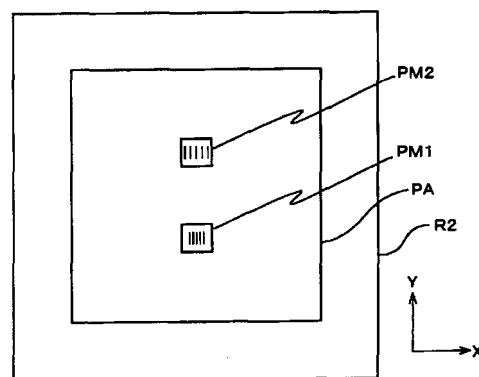
【図12】



【図13】

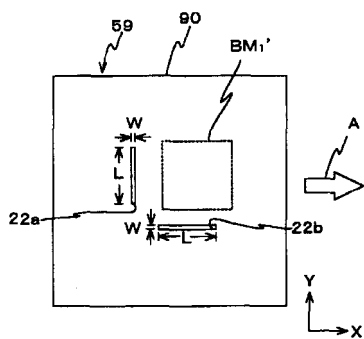


【図14】

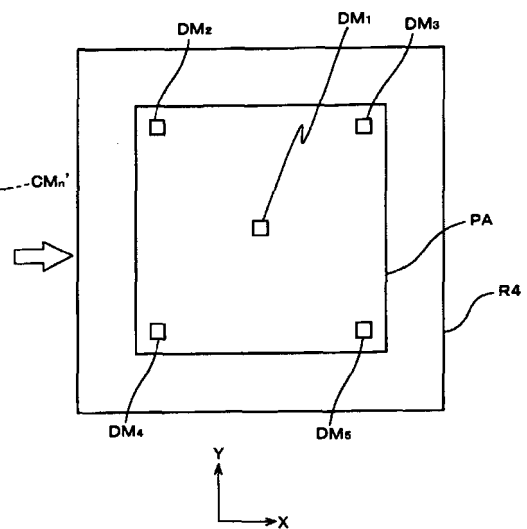
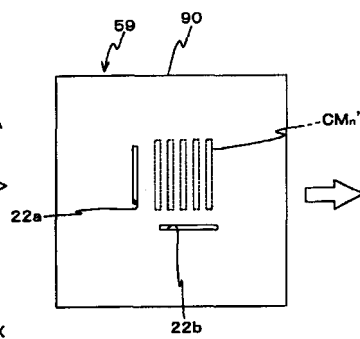


【図20】

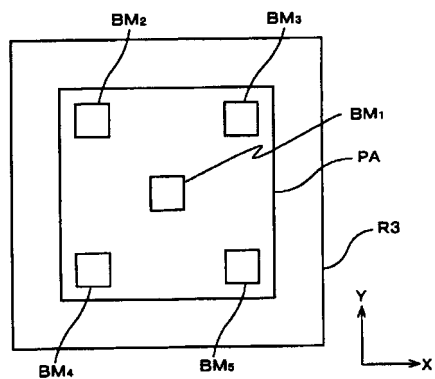
【図16】



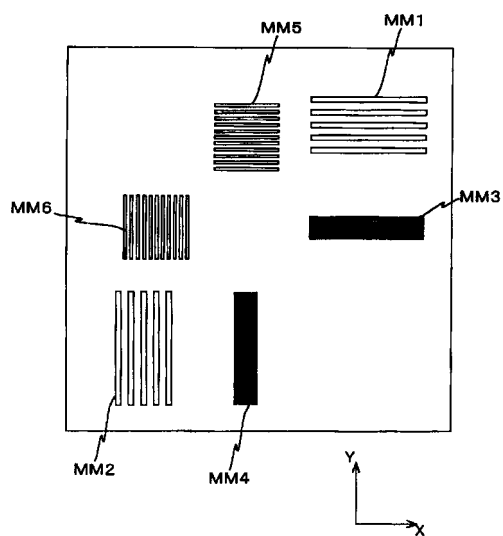
【図17】



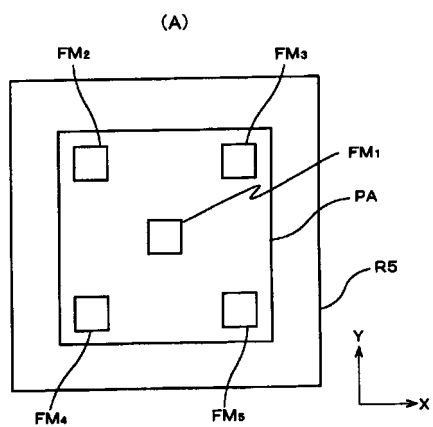
【図15】



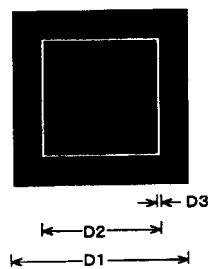
【図18】



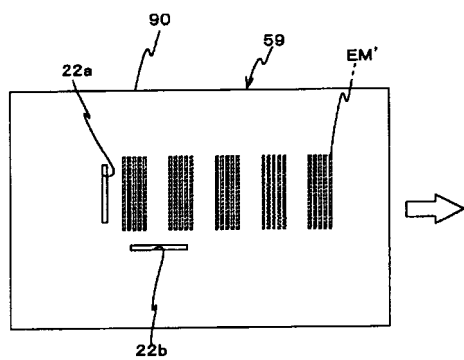
【図23】



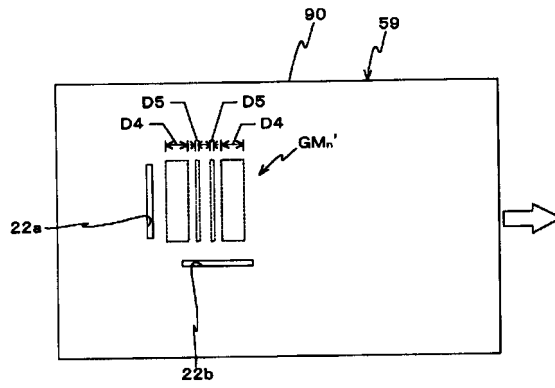
(B)



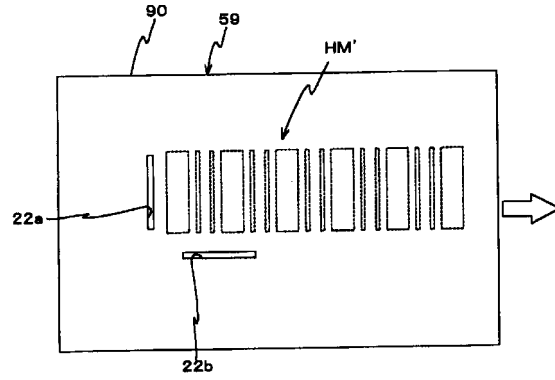
【図21】



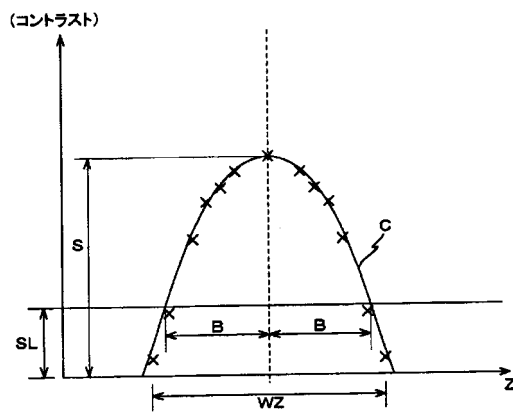
【図24】



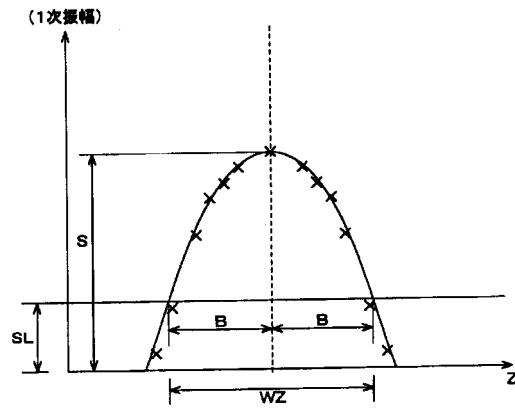
【図25】



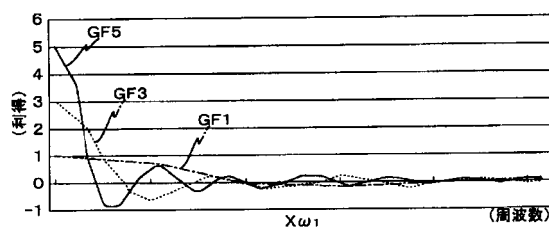
【図26】



【図27】

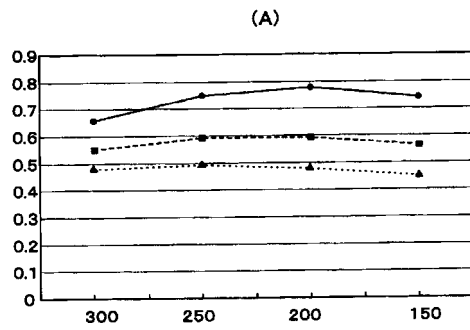


【図34】

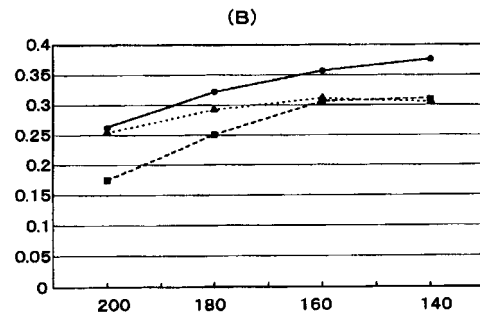
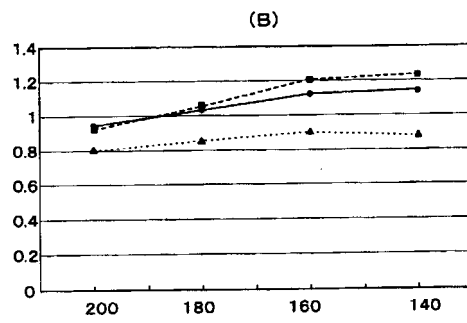
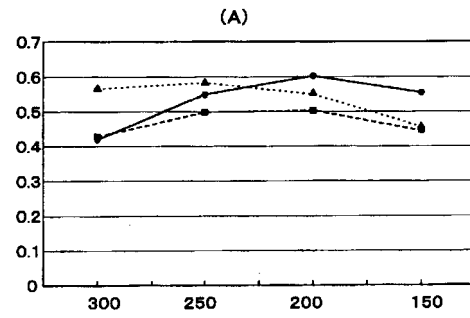




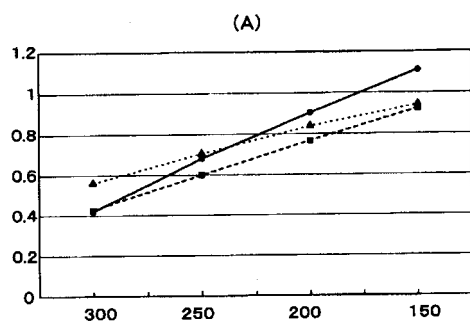
【図 28】



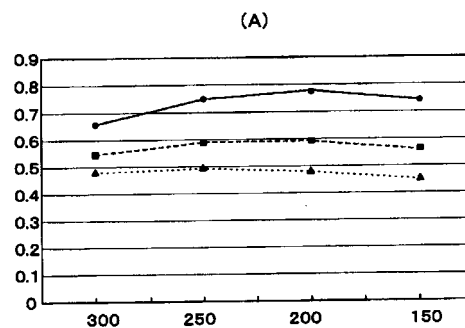
【図 29】



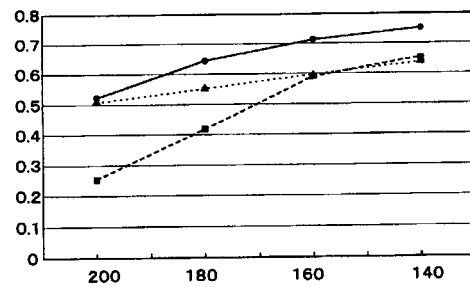
【図30】



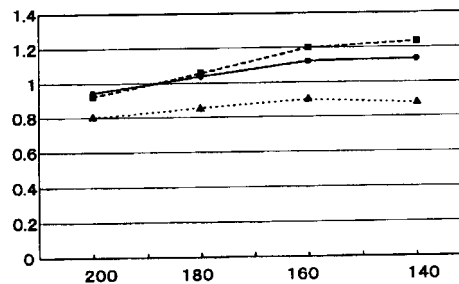
【図31】



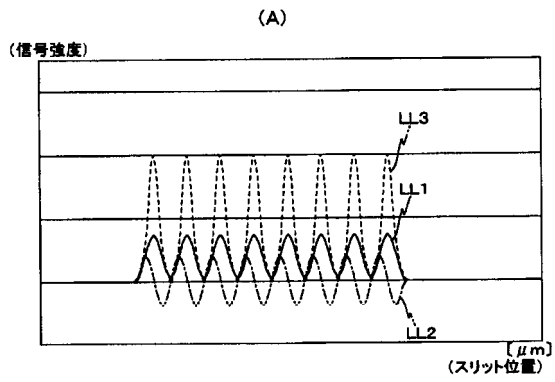
(B)



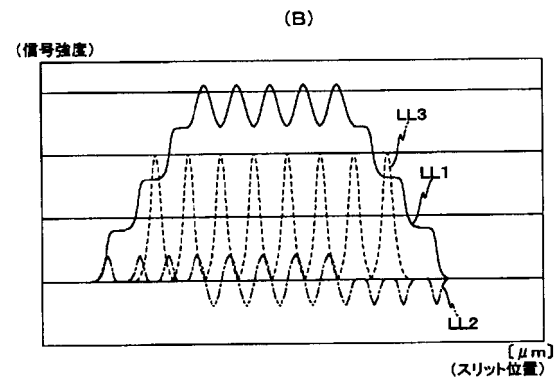
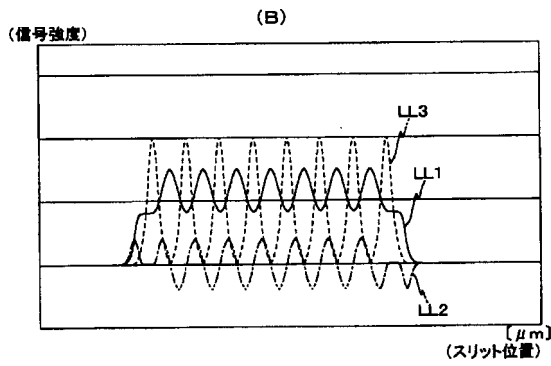
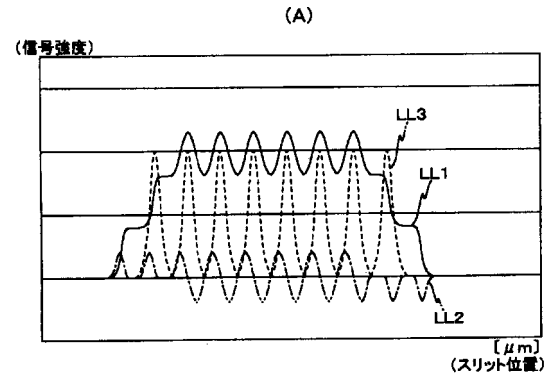
(B)



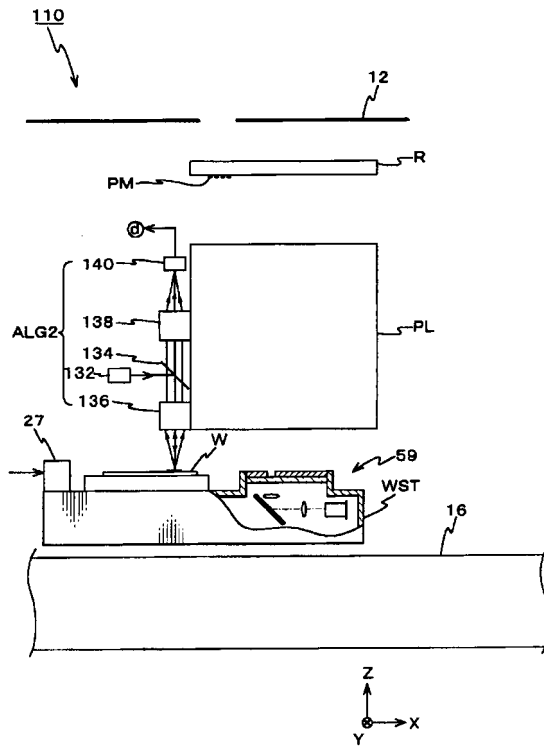
【図32】



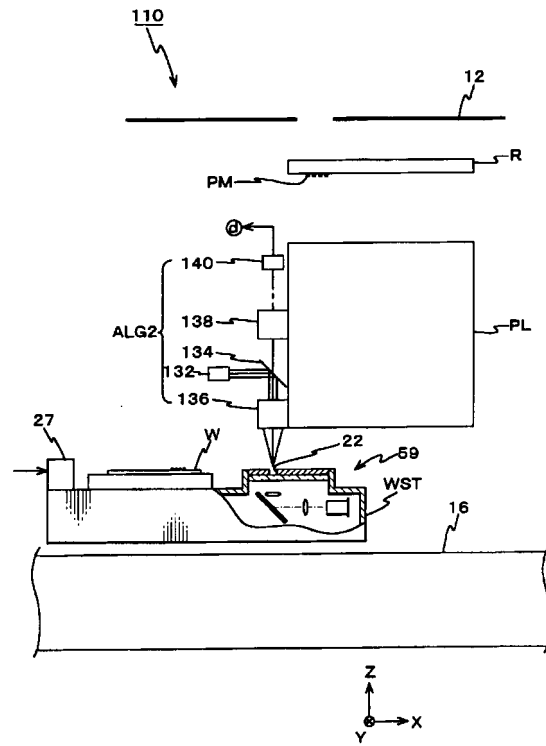
【図33】



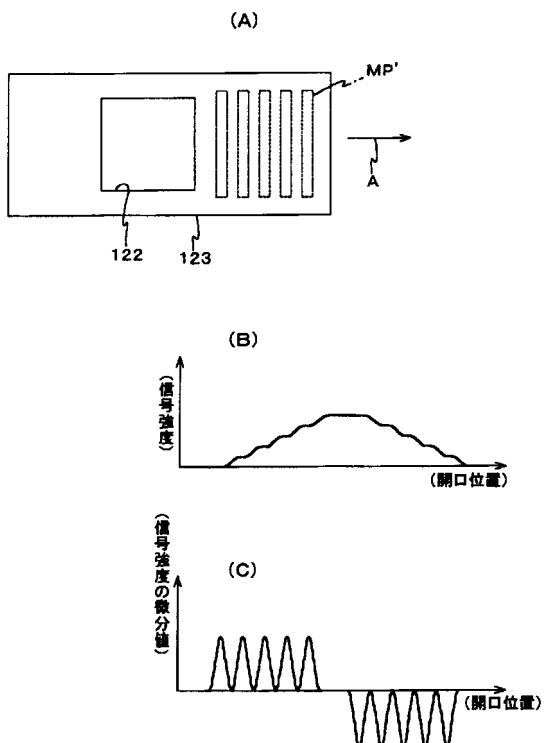
【図 3 5】



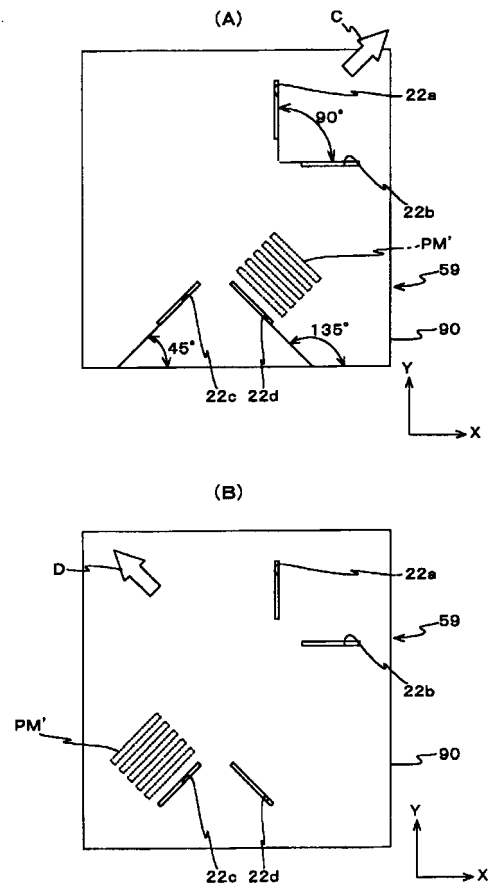
【图 3 6】



【図 3 8】



【図37】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

G 0 3 F 7/22

H 0 1 L 21/027

識別記号

F I

G 0 3 F 7/22

H 0 1 L 21/30

テ-マコード\* (参考)

H

5 2 5 R

F タ-ム (参考) 2F065 AA04 AA06 AA07 CC20 DD04  
 EE08 FF01 GG04 HH06 HH13  
 LL01 LL28 LL63 MM24 PP12  
 QQ16 QQ23 QQ41 UU01 UU02  
 UU05  
 2G086 HH05 HH07  
 5F046 BA03 DB05 DB08 FA09 FA16  
 FB14 FB16